

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**MULTİFONKSİYONEL ÜÇ BOYUTLU KORUYUCU
GİYSİ KUMAŞI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ**

**Hazırlayan
Çağrıalp ARSLAN**

**Danışman
Prof. Dr. Levent ÖNAL**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2014
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**MULTİFONKSİYONEL ÜÇ BOYUTLU KORUYUCU
GİYSİ KUMAŞI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ**

**Hazırlayan
Çağrıalp ARSLAN**

**Danışman
Prof. Dr. Levent ÖNAL**

Yüksek Lisans Tezi

**Bu çalışma SAN-TEZ tarafından 01453.STZ.2012-1 kodlu proje ile
desteklenmiştir.**

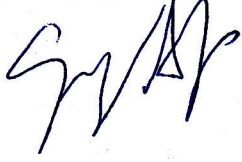
**Haziran 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Çağrıalp Arslan

İmza :

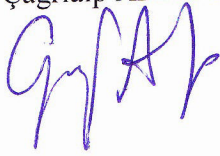


YÖNERGEYE UYGUNLUK

MULTİFONKSİYONEL ÜÇ BOYUTLU KORUYUCU GİYSİ KUMAŞI TASARIMI
VE GELİŞTİRİLMESİ adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez
Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

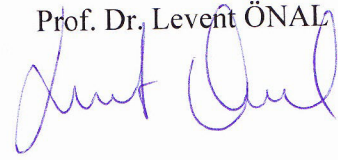
Tezi Hazırlayan

Çağrıalp ARSLAN



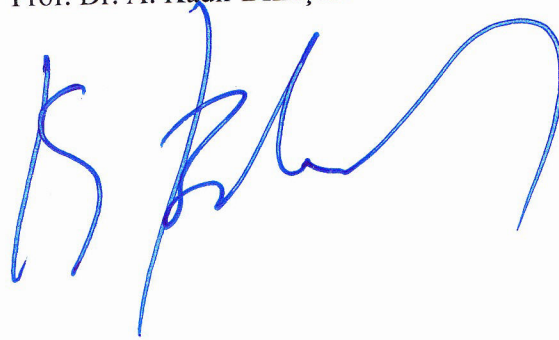
Danışman

Prof. Dr. Levent ÖNAL



Tekstil Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. A. Kadir BİLİŞİK



Prof. Dr. Levent ÖNAL danışmanlığında **Çağrıalp ARSLAN** tarafından hazırlanan **“Multifonksiyonel Üç Boyutlu Koruyucu Giysi Kumaşı Tasarımı ve Geliştirilmesi”** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

24 / 06 / 2014

(Tez savunma sınav tarihi yazılacaktır.)

JÜRİ:

Danışman: Prof. Dr. Levent ÖNAL

Üye : Prof. Dr. Nazım PAŞAYEV

Üye : Doç. Dr. İlhan ÖZEN

[Handwritten signatures of the jury members]

ONAY :

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 08/07/2014 tarih ve 2014/31-05 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

[Official stamp and handwritten signature of Prof. Dr. Kazım KEŞLIOĞLU]

Prof. Dr. Kazım KEŞLIOĞLU
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Levent Önal'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada kullanılan kumaşların üretilmesinde verdikleri destekten dolayı KARSU Tekstil San. Tic. A.Ş. Ür-Ge Şefi Sayın Bilgehan Ülger Bey' e teşekkür ederim.

Bu çalışmaya 01453.STZ.2012-1 kodlu proje ile finansal destek sağlayan T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı' na teşekkür ederim.

Ayrıca, başta ailem olmak üzere; çalışmalarım süresince sabır ve nezaket ile benden desteğini esirgemeyen değerli dostlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çağrıalp ARSLAN
Kayseri, Haziran 2014

MULTİFONKSİYONEL ÜÇ BOYUTLU KORUYUCU GİYSİ KUMAŞI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

Çağrıalp ARSLAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2014

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent ÖNAL

ÖZET

Koruyucu giysilerin kullanıcıyı koruma işlevini yerine getirirken giyim konforunu da sağlaması beklenmektedir. Çok katmanlı bir kumaş yapısına sahip olan koruyucu giysi sisteminde, fiziksel aktivite esnasında oluşan terin dış ortama transferi veya terlemeyi azaltma fonksiyonu çoğunlukla göz ardı edilmekte veya etkin biçimde gerçekleşmemektedir. Bundan dolayı, koruyucu giysi tasarımı bir bütün olarak ele alınıp, özellikle astar kısmı dikkate alınarak uygun konfor özelliklerini sağlama işi; gerek kumaş yapısı, gerekse lif seçimi bazında dikkatle yapılmalıdır. Fonksiyonel liflerin seçimi ve kumaşla uyumu bu açıdan önem göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, koruyucu giysilerin astar kısmında uygulanmak üzere; özel iplikler kullanılarak yuvarlak örme teknolojisi ile üretilen üç boyutlu boşluklu örme (ÜBBÖ) kumaşlara güç tutuşurluk, termofizyolojik konfor ve antistatiklik gibi multifonksiyonel özelliklerin tek bir yapıda kazandırılmasıdır.

ÜBBÖ kumaşların ön yüz, arka yüz ve hav bölgelerinde farklı konfigürasyonlar ile Ne30 numara kesikli Kermel®, Lenzing FR®, Nexylon FR®, Twaron®, pamuk, viskon ve karbon liflerinin farklı karışım oranlarını içeren kompozit iplikler kullanılmıştır. Pamuk ve viskon içerikli ÜBBÖ kumaşlar termofizyolojik konfor açısından karşılaştırma yapmak üzere referans kumaş olarak üretilmiştir. ÜBBÖ kumaşlara güç tutuşurluk, termal analiz, termofizyolojik konfor (hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği ve termal direnç), boncuklanma ve statik elektriklenme testleri uygulanarak, koruyucu giysinin astar kısmını teşkil edecek olan ÜBBÖ kumaşın multifonksiyonel performans özellikleri incelenmiştir. ÜBBÖ kumaşlara tek başına gerçekleştirilen testin yanı sıra, çok katmanlı koruyucu giysiyi simüle etmek amacıyla ÜBBÖ kumaşın da dâhil olduğu çok katmanlı bir sistem oluşturularak bağıl su buharı

geçirgenliği testi de gerçekleştirilmiştir. Termofizyolojik konfor parametreleri arasındaki ilişkilerin tespiti amacıyla korelasyon ve tek yönlü varyans analizi (ANOVA) gerçekleştirilmiştir.

ÜBBÖ kumaşlarda kullanılan Kermel® ve Twaron® liflerinin beklenildiği üzere kumaşlara yüksek derecede güç tutuşurluk özelliği sağladığı tespit edilmiştir. Twaron® lifi içerikli kumaşlarda, diğer kumaşlara göre çok daha yüksek hava ve bağıl su buharı geçirgenliği değeri elde edilmiştir. Çok katmanlı koruyucu giysiyi simüle amaçlı oluşturulan katmanlı sistemlerin bağıl su buharı geçirgenliğinin ise, tek katmanda elde edilen ölçümlere oranla düşük olduğu, fakat ÜBBÖ kumaş yapısının belirli oranda su buharı geçirgenliğini sağladığı tespit edilmiştir. ÜBBÖ kumaş yapısındaki Kermel® lifi oranındaki artışın termal direnci arttırıcı etki göstererek, termal yalıtım özelliğine olumlu yönde katkı sağladığı, bunun aksine Lenzing FR® lifi içeriğindeki artışın ise, termal direnci azaltıcı etki göstererek termal yalıtım özelliğine olumsuz yönde etkidiği saptanmıştır. Lenzing FR® lifi içerikli ÜBBÖ kumaşların boncuklanma eğilimlerinin daha düşük olduğu, Kermel® oranı yüksek olan ve Twaron® içeren kumaşların da pamuklu kumaştan daha düşük boncuklanma eğilimine sahip olduğu görülmüştür. Her bölgesinde %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon karışımı iplik kullanılarak üretilmiş ÜBBÖ kumaş numunesi, kumaşlar arasında antistatik özelliği en üst düzeyde gösteren numune olmuştur.

ÜBBÖ kumaşların termofizyolojik konfor parametre değerleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği – hava geçirgenliği arasında 0.78 korelasyon katsayısı ile direk yönlü doğrusal bir ilişki, su buharı geçirgenliği direnci – hava geçirgenliği arasında ise -0.74 korelasyon katsayısı ile ters yönlü doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Koruyucu giysi, Üç boyutlu boşluklu örme kumaş, Güç tutuşurluk, Termofizyolojik konfor, Antistatik özellik.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF MULTIFUNCTIONAL THREE DIMENSIONAL FABRIC FOR PROTECTIVE CLOTHING

Çağrıalp ARSLAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, June 2014

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Levent ÖNAL

ABSTRACT

Protective clothing is expected to provide wearer's comfort while performing protection function. As a result of tiresome physical activities transferring the sweat and vapor from body to the outwards is usually disregarded on a multilayered protective clothing. Therefore, protective clothing design should be considered as a whole within the clothing design and the tasking of proper comfort features must be carefully done both in terms of fiber selection and fabric structure by giving special attention to the interlining section of the protective clothing system. Selection of functional fibers and its harmony with fabric have great importance from this respect.

In this study, three dimensional knitted spacer fabric which were manufactured on circular knitting machine using special yarns to be implemented in interlining section of the protective clothing, is designed to provide multifunctional properties i.e. flame retardancy, thermo physiological comfort and antistatic properties in a single structure to three dimensional spacer fabrics (UBBO).

Composite yarns containing different blending ratios of staple Kermel®, Lenzing FR®, Nexylon FR®, Twaron®, cotton, viscose and carbon fibers in Ne30 count were used at the front, back and binding sections of UBBO fabrics with various configurations. The UBBO fabrics with cotton and viscose fibers were manufactured as reference state. Multifunctional performance characteristics of the UBBO fabric designed for the interlining section of protective clothing were investigated through flame retardancy, thermo physiological comfort (air permeability, relative water vapor permeability and thermal resistance), pilling and antistatic test methods. In addition to performing water vapor permeability test on plain UBBO fabrics, a multi-layered fabric system, which contains PE film, UBBO fabric and plain knitted fabric, was also tested in order to

simulate the real condition of protective clothing as a whole system. Correlation analysis and one-way variation analysis (ANOVA) were performed in order to determine the relationships between parameters that were studied.

As expected, UBBO fabrics from Kermel® and Twaron® fibers provide higher flame retardancy than samples from other fibers. It was observed that the UBBO fabrics with Twaron® fiber have higher air and relative water vapor permeability than that of the others. Relative water vapor permeability of the simulated multi-layered fabric systems had relatively lower results than that of individual UBBO fabrics. The increase of Kermel® fiber ratio in the UBBO fabrics enhanced thermal resistance value of the fabrics and that affected thermal insulation of the fabrics positively. Contrary to this, when Lenzing FR® fiber ratio in the UBBO fabrics increases, that decrease thermal resistance value of the fabrics and affected thermal insulation of the fabrics negatively. The UBBO fabrics with Lenzing FR® have lower pilling tendency than that of the others and it was found that the fabrics having higher Kermel® and Twaron® fibres ratio have lower pilling trend than that of the fabric with cotton. The UBBO fabric sample from 50/49/1% Kermel®/Lenzing FR®/carbon fibers blended composite yarn at all sections were the highest antistatic fabric among all.

Thermo physiological comfort parameters values of the UBBO fabrics were found statistically significant. A directly linear correlation between relative water vapor permeability - air permeability of the fabrics were determined as (+ 0.78) and a reversely linear correlation between water vapor permeability resistance – air permeability of the fabrics (- 0.74).

Keywords: Protective clothing, Three dimensional knitted spacer fabric, Flame retardancy, Thermo physiological comfort, Antistatic property.

İÇİNDEKİLER

MULTİFONKSİYONEL ÜÇ BOYUTLU KORUYUCU GİYSİ KUMAŞI TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMA VE SİMGELER.....	xv
TABLolar LİSTESİ.....	xix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xx

GİRİŞ	1
-------------	---

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

1.1. Üç Boyutlu Boşluklu Örme Kumaşlar	4
1.1.1. Üç Boyutlu Boşluklu Örme Kumaş Yapısı ve Özellikleri	4
1.1.2. Üç Boyutlu Boşluklu Örme Kumaş Yapılarının Üretim	
Yöntemleri	7
1.1.2.1. ÜBBÖ Kumaş Yapılarının Çözümlü Örme Teknolojisiyle	
Üretimi	8
1.1.2.2. ÜBBÖ Kumaş Yapılarının Atkılı Örme Teknolojisiyle	
Üretimi	10
1.2. Koruyucu Giysiler	14
1.2.1. Koruyucu Giysi Uygulamaları	16
1.2.2. Koruyucu İtfaiyeci Giysisi Tasarımı	19

1.2.2.1. Koruyucu İtfaiyeci Giysisi Katmanları.....	20
1.2.2.2. İtfaiyeci Giysisi Tasarım Özellikleri.....	21
1.2.2.2.1. Giysi Tasarımı	22
1.2.2.2.2. Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Direnci	22
1.2.2.2.3. Fiziksel Özellikler	23
1.2.3. Koruyucu İtfaiyeci Giysisi Standartları.....	25
1.3. Tekstilde Termal Koruyuculuk	28
1.3.1. Yanma Olayı ve Yangın.....	29
1.3.1.1. Yanma Olayı.....	29
1.3.1.2. Yangın ve Bileşenleri	30
1.3.2. Tekstil Materyallerinin Yanma Davranışı.....	31
1.3.3. Yüksek Isı ve Alevden Koruyucu Tekstiller	36
1.3.4. Tekstil Malzemelerine Alev Geciktirici Özellik Kazandırılması	37
1.3.4.1. Güç Tutuşurluk Sağlayan Maddelerin Kimyası	38
1.3.4.2. Güç Tutuşurluk Sağlayan Maddelerin Etki Mekanizması	38
1.3.5. Güç Tutuşurluk Test Yöntemleri	39
1.3.6. Güç Tutuşur Kumaş Yapıları ve Özellikleri	41
1.4. Koruyucu Giysi Üretiminde ve Termal Koruyuculuk	
Uygulamalarında Kullanılan Lifler.....	44
1.4.1. Aramid Lifleri.....	44
1.4.1.1. P – aramid Lifi	44
1.4.1.2. M – aramid Lifi	45
1.4.2. Polietereeterketon Lifleri (PEEK).....	45
1.4.3. Polifenilen Sülfid Lifleri (PPS)	46
1.4.4. Novoloid (Kür Fenol – Aldehit) Lifleri	46
1.4.5. Polibenzimidazol Lifleri (PBI)	46
1.4.6. Didon Lifi	47

1.4.7. Lenzing FR Lifi	48
1.4.8. Nexylon FR Lifi	48
1.5. Temofizyolojik Konfor Kavramı	48
1.5.1. Termofizyolojik Konforu Etkileyen Faktörler	51
1.5.1.1. Çevresel Parametreler	51
1.5.1.2. İnsanla İlişkili Konfor Parametreleri.....	52
1.5.1.3. Giysi Parametreleri.....	54
1.5.2. Termofizyolojik Konforun Değerlendirilmesinde Kullanılan Parametreler	56
1.5.2.1. Termal İletkenlik	57
1.5.2.2. Termal Direnç	58
1.5.2.3. Termal Yalıtım Değeri (TIV).....	58
1.5.2.4. Termal Absorptivite.....	59
1.5.2.5. Termal Difüzyon	60
1.5.2.6. Giysi ve Kumaşlarda Hava Geçirgenliği.....	60
1.5.2.7. Giysi ve Kumaşlarda Su Buharı Geçirgenliği	61
1.5.3. Koruyucu Giysilerde Konfor Kavramı	64
1.5.3.1. Koruyucu Giysi Konforunu ve Performansını Etkileyen Faktörler	65
1.5.3.1.1. Giysi Özellikleri	66
1.5.3.1.2. İş Gereksinimleri	66
1.5.3.1.3. İşçi Karakteristikleri.....	66
1.5.3.1.4. Çevresel Koşullar	67
1.5.3.2. Koruyucu Giysi ve İtfaiyeci Giysi Konforu Üzerine Yapılan Çalışmalar	68
1.6. Tekstil Materyallerinde Elektrostatik Koruyuculuk.....	75
1.6.1. Elektrostatikğin İlkeleri.....	76

1.6.2. Yük Oluşumu.....	76
1.6.3. Çevresel Koşulların Tekstil Ürünlerinin Elektriksel Özelliklerine Etkisi.....	77
1.6.4. Elektrostatik Tehlikeler.....	78
1.6.5. Elektrostatik Yük Boşalması (ESD)	79
1.6.6. Minimum Tutaşma Enerjisi (MIE)	80
1.6.7. Tekstil Materyallerinin Elektrostatik Ölçüm Teknikleri.....	80
1.6.7.1. Küçük Ölçekli Testler.....	80
1.6.7.2. Elektrik Alanı.....	81
1.6.7.3. Şarj	81
1.6.7.4. Direnç ve Yük Bozunumu	82
1.6.7.5. Gerilim	82
1.6.7.6. Elektrostatik Deşarjlar	82
1.6.7.7. İnsan Vücudu Modelleri.....	83
1.6.8. Statik Elektriklenmenin Azaltılması	85
1.6.9. Koruyucu Giysilerde Statik Elektriklenme ve Antistatik Özellik	92

2. BÖLÜM

MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Malzemeler.....	95
2.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin Kalite ve Performans Değerleri.....	95
2.1.2. ÜBBÖ Kumaşların Üretimi ve Özellikleri.....	96
2.2. Yöntem	98
2.2.1. Boyutsal Stabilité.....	98
2.2.2. Testler	98
2.2.2.1. Kumaş Karakterizasyon ve Performans Testleri.....	98
2.2.2.1.1. Kumaşların Makroskobik Analizi	98

2.2.2.1.2. İlmek Sıklıkları ve İlmek Yoğunluğu	99
2.2.2.1.3. İlmek İplik Uzunluğu	99
2.2.2.1.4. Kumaş Gramajının Tayini.....	100
2.2.2.1.5. Kumaş Kalınlığının Tayini	101
2.2.2.1.6. Kumaş Gözenekliliği	102
2.2.2.1.4. Kumaşların Boncuklanma Testi	102
2.2.2.2. Kumaşların Termofizyolojik Konfor Testleri	103
2.2.2.2.1. İnsan Cildinin Simülasyonu İle Su Buharı Geçirgenliğinin Ölçümü (Permetest)	103
2.2.2.2.2. Ter Korumalı Sıcak Plaka (Cilt Modeli) Test Yöntemi İle Termal Direnç Ölçümü (Sweating Guarded Hot Plate)	105
2.2.2.2.3. Kumaşların Hava Geçirgenliği Testi	107
2.2.2.3. Kumaşların Güç Tutuşurluk ve Termal Analiz Testleri.....	108
2.2.2.3.1. Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI) Testi.....	108
2.2.2.3.2. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	108
2.2.2.3.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi	109
2.2.2.4. Kumaşların Statik Elektriklenme Testi	110
2.2.2.5. İstatistiksel Analiz	111

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin ve ÜBBÖ

Kumaşların Fiziksel Özellikleri	112
---------------------------------------	-----

3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin ve ÜBBÖ

Kumaşların Güç Tutuşurluk Özelliği ve Termal Analizi..... 117

3.2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin Termal

Analizi 117

3.2.2. ÜBBÖ Kumaşların Güç Tutuşurluk Özelliği ve Termal Analizi 124

3.3. ÜBBÖ Kumaşların Termofizyolojik Konfor Test Sonuçları 150

3.3.1. ÜBBÖ Kumaşların Hava Geçirgenliği Test Sonuçları 150

3.3.2. ÜBBÖ Kumaşların Su Buharı Geçirgenliği Test Sonuçları..... 153

3.3.3. ÜBBÖ Kumaşların Termal Direnç Test Sonuçları..... 160

3.4. ÜBBÖ Kumaşların Boncuklanma Test Sonuçları 162

3.5. ÜBBÖ Kumaşların Statik Elektriklenme Test Sonuçları 164

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma ve Sonuç..... 167

4.2. Öneriler 170

KAYNAKLAR 172

EKLER..... 195

EK – 1. ÜBBÖ Kumaşlarda Kullanılmak Üzere Üretilen Kompozit İpliklerin

45X Büyütme Oranında Yanal Görüntüleri..... 195

EK – 2. Üretilen ÜBBÖ Kumaşların 10X Büyütme Oranında Yüzey ve Kesit

Görüntüleri 199

EK – 3. Üretilen ÜBBÖ Kumaşların Boncuklanma Testi Öncesi ve Sonrası

Yüzey Görüntüleri 205

ÖZGEÇMİŞ..... 211

KISALTMALAR VE SİMGELER

<i>ÜBBÖ</i>	: Üç Boyutlu Boşluklu Örme
<i>CWA</i>	: Kimyasal savaş maddesi
<i>TIC</i>	: Toz kimyasal maddesi
<i>PBI</i>	: Polibenzimidazol
<i>GII</i>	: Giysi engelleme indeksi
<i>TPP</i>	: Termal koruyuculuk performansı
<i>HTI₁₂</i>	: 12 °C sıcaklık artış süresi (dak)
<i>HTI₂₄</i>	: 24 °C sıcaklık artış süresi (dak)
<i>T_g</i>	: Camı geçiş sıcaklığı (°C)
<i>T_m</i>	: Erime sıcaklığı (°C)
<i>T_p</i>	: Piroliz sıcaklığı (°C)
<i>T_c</i>	: Yanma sıcaklığı (°C)
<i>T_{pc}</i>	: Kritik piroliz sıcaklığı (°C)
<i>T_{si}</i>	: Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı
<i>ΔH</i>	: Yanma entalpisi (kJ)
<i>hf</i>	: Entalpi (kJ)
<i>LOI</i>	: Sınırlayıcı oksijen indeksi (%)
<i>PAN</i>	: Poliakrilonitril
<i>FR</i>	: Alev geciktirici/Güç tutuşur
<i>TG</i>	: Termogravimetri
<i>PPS</i>	: Polifenilensülfür
<i>PEEK</i>	: Polietereterketon
<i>Q</i>	: Isı miktarı (J/s)
<i>M</i>	: Metabolizma enerjisi (joule)

L	: Kas enerjisi (joule)
η	: Verimlilik (%)
λ	: Termal iletkenlik katsayısı (W/mK)
q	: Isı akışı miktarı (W/m ²)
h	: Kumaş kalınlığı (m)
ΔT	: Sıcaklık farkı (K)
A_T	: Islak kumaşın ısı iletkenliği (W/mK)
$A_{T,0}$	: Kuru kumaşın ısı iletkenliği (W/mK)
$A_{T,0}$	: Suyun ısı iletkenliği (W/mK)
V_T	: Kumaşın hacmi (m ³)
V_W	: Suyun hacmi (m ³)
V_L	: Havanın hacmi (m ³)
r	: Termal direnç (m ² K/W)
TIV	: Termal yalıtım değeri (%)
$\varepsilon_0, \varepsilon_1$	: Kumaş yüzeylerinden gerçekleşen salınım güçleri (Watt)
b	: Termal absorpsiyon (Wm ⁻² s ^{1/2} K ⁻¹)
ρ	: Malzeme yoğunluğu (kg/m ³)
c	: Islatma ısısı (W/m ²)
τ	: Cilt ve kumaş arasındaki ısı temas süresi (s)
T_1	: İnsan derisinin sabit sıcaklığı (°C)
T_2	: Kumaşın başlangıç sıcaklığı (°C)
a	: Termal difüzyon (m ² s ⁻¹)
R_{et}	: Su buharı geçirgenlik direnci (m ² Pa/W)
R_{es}	: Manken cildinin su buharı geçirgenliği direnci (m ² Pa/W)
P_s	: Mankenin terleme yüzeyindeki su buharı basıncı (Pa)

P_a	: Giysi boyunca hava akışındaki su buharı basıncı (Pa)
A_s	: Mankenin terleyen yüzey alanı (m ²)
H_e	: 34 °C’de terleme alanının devamlılığı için gerekli ısıtma gücü (Watt)
λ_q	: Ölçülen yüzey sıcaklığında su buharlaştırma ısısı (Wsa/g)
dm/dt	: Mankenin terleyen yüzeyinden ayrılan nemin buharlaşma hızı (g/sa)
R_{cet}	: Temel su buharı geçirgenlik direnci (m ² Pa/W)
R_{ea}	: Çıplak manken etrafındaki hava tabakasının buharlaştırma direnci (m ² Pa/W)
R_{em}	: Cilt ve hava katmanı da dahil olmak üzere mankenin su buharı geçirgenlik direnci (m ² Pa/W)
R_{es}	: Sıkı yapıda giydirilmiş ıslak durumdaki her manken için ölçülen su buharı geçirgenlik direnci (m ² Pa/W)
f_{eI}	: Giysi alan faktörü
i_m	: Hava tabakası direnci de dahil olmak üzere giysi için su buharı geçirgenlik indeksi
$GATS$	: Gravimetrik Absorpsiyon Test Sistemi
$WVTR$	: Su buharı geçirgenliği oranı (%)
t_{dec}	: Ayrışma süresi (s)
R	: Elektriksel direnç (Ω)
C	: İletkenlik kapasitesi (F)
ESD	: Elektrostatik yük boşalması
MIE	: Minimum tutuşma enerjisi
V_s	: Yüzey gerilimi (V)

E	: Elektriksel alan (V/m)
d	: Malzemenin kalınlığı (m)
σ	: Elektriksel yük yoğunluğu (C/m ²)
ε	: Yalıtkanın dielektrik sabiti (F/m)
l	: Malzeme boyu (m)
ρ	: Malzemenin öz direnci (Ω m)
C_u	: İnsan vücudunun elektrik kapasitansı (F)
U	: Giyinik durumda insan vücudundaki gerilim farkı (V)
$RWVP$	: Bağıl su buharı geçirgenliği (%)
P_m	: Doygun kısmi su buharı basıncı (Pa)
P_α	: Gerçek kısmi su buharı basıncı (Pa)
TGA	: Termogravimetrik analiz
DTG	: Derivatif termogravimetri
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Bazı Liflerin Termal Özellikleri	33
Tablo 1.2. Bazı Liflerin Yanma Özellikleri	34
Tablo 1.3. Alev ve Isıya Karşı Korunulması Gereken ve Tehlike Arz Eden İş Alanları.....	37
Tablo 1.4. Tekstil Materyallerinin Yanması Sırasındaki Enerji Dağılımı	37
Tablo 1.5. Vücudun Farklı Aktivitelerde Ürettiği Enerji Miktarları.....	50
Tablo 2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin Fiziksel Özellikleri ...	96
Tablo 3.1. ÜBBÖ Kumaşların İçerikleri	113
Tablo 3.2. ÜBBÖ Kumaşların Fiziksel Karakterizasyonları	115
Tablo 3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin Termal Analiz Sonuçları	118
Tablo 3.4. ÜBBÖ Kumaşların Termal Analiz ve Güç Tutuşurluk Test Sonuçları	125
Tablo 3.5. ÜBBÖ Kumaşların Hava Geçirgenliği Test Sonuçları	151
Tablo 3.6. ÜBBÖ Kumaşların Su Buharı Geçirgenliği Test Sonuçları	154
Tablo 3.7. Koruyucu Giysinin Simüle Edildiği Çok Katmanlı Yapının Su Buharı Geçirgenliği ve Su Buharı Geçirgenlik Direnci Test Sonuçları	157
Tablo 3.8. ÜBBÖ Kumaşların Termal Direnç Test Sonuçları	160
Tablo 3.9. ÜBBÖ Kumaşların Boncuklanma Dereceleri.....	163
Tablo 3.10. ÜBBÖ Kumaşların Statik Elektriklenme Test Sonuçları	165

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Üç boyutlu boşluklu örme kumaş yapısı.....	5
Şekil 1.2. Açık yüzeyli üç boyutlu boşluklu örme kumaş.....	5
Şekil 1.3. Kapalı yüzeyli üç boyutlu boşluklu örme kumaş.....	6
Şekil 1.4. Üç boyutlu boşluklu örme kumaşlardan ısı, hava ve nem transferinin şematik gösterimi.....	7
Şekil 1.5. Stoll firmasının ürettiği CMS 530 model elektronik düz örme makinesi.....	11
Şekil 1.6. Mayer & Cie firması tarafından geliştirilen spacer aparatı.....	12
Şekil 1.7. Terrot firmasının ÜBBÖ kumaş üretimine imkan tanıyan I3P254 model çift plakalı yuvarlak örme makinesi	13
Şekil 1.8. Çeşitli sanayi dallarında kullanılan koruyucu giysiler	15
Şekil 1.9. Firestrike 245 – Yüksek performanslı multi-koruyucu alev geciktirici kumaş	17
Şekil 1.10. SAFE, New Semi – Permeable CBRN koruyucu giysisi.....	17
Şekil 1.11. Resmi ve Askeri Savunma Güçleri için CBRN koruyucu giysi katmanları	18
Şekil 1.12. fireHOOD 2® koruyucu giysi sisteminin kumaş katmanları	19
Şekil 1.13. Koruyucu itfaiyeci giysisinin sahip olması gereken tabakalı yapı ve tabakaların fonksiyonları.....	25
Şekil 1.14. Yanma üçgeni	30
Şekil 1.15. Yangın tetrahedronu	31
Şekil 1.16. Tekstil materyali için yanma döngüsü	34
Şekil 1.17. Endotermik yıkım reaksiyonları	38
Şekil 1.18. Camsı yüzey.....	39
Şekil 1.19. Serbest radikal yanma reaksiyonları	39
Şekil 1.20. Deriden çevreye olan ısı transferi diyagramı	50
Şekil 1.21. Mikroklimayı etkileyen faktörler	51

Şekil 1.22. Rüzgarın ve kullanıcı hareketinin kumaş katmanları arasındaki hava tabakasına etkisi	52
Şekil 1.23. Kumaş ve hava katmanlarının toplam ısı ve su buharı direncine etkisinin şematik gösterimi	56
Şekil 1.24. FX 3300 hava geçirgenliği test cihazı.....	61
Şekil 1.25. Belirlenmiş dört faktörün giysi performansı üzerindeki olumsuz etkileri ...	65
Şekil 1.26. Giysi özellikleri ve alt bileşenleri arasındaki ilişki.....	66
Şekil 1.27. Elektrostatik bir sistemin gösterimi	76
Şekil 1.28. Modifiye edilmiş NFPA 1991, 9-29 tribo-charging cihazının şematik gösterimi.....	83
Şekil 1.29. Tekstil liflerinin elektriksel iletkenlikleri	85
Şekil 1.30. Temas yüzeyinin sabit alanı (S) ve sabit mesafesi (d) arasındaki malzeme yükselmesinin sabit seviyesindeki yük (Q) ve büyük elektrik kapasitesinin (C_u) sonucu olarak giyinik durumda insan vücudundaki gerilim farkının (U) azaltılmasının etkisi.....	92
Şekil 2.1. ÜBBÖ kumaşların üretiminde kullanılan Terrot tipi yuvarlak atkılı örme makinesi	97
Şekil 2.2. ÜBBÖ kumaşların örgü desen raporu ve bu raporla üretilen kumaşın yüzey görüntüleri	97
Şekil 2.3. Yüzey görüntüleme işleminde kullanılan Olympus SZ61 stereo mikroskobu.....	99
Şekil 2.4. Tautex Digital Crimp Tester Ölçüm Cihazı.....	100
Şekil 2.5. Dumaş gramaj tayini için kullanılan numune kesme aparatı	101
Şekil 2.6. Kumaş kalınlık ölçümü test cihazı.....	101
Şekil 2.7. Martindale Aşındırma Test Cihazı.....	102
Şekil 2.8. Permetest Su Buharı Geçirgenliği Test Cihazı	103
Şekil 2.9. Permetest cihazı şematik gösterimi.....	104
Şekil 2.10. Çok katmanlı koruyucu giysi sisteminin su buharı geçirgenliğinin ölçümünü simüle etmek için oluşturulan sistem	105

Şekil 2.11. Ter Korumalı Sıcak Plaka (Cilt Modeli) Test Yöntemi.....	106
Şekil 2.12. SDL Atlas M021A modeli hava geçirgenliği test cihazı	107
Şekil 2.13. Sınırlayıcı Oksijen İndeksi Testi Ölçüm Cihazı	108
Şekil 2.14. Numunelerin termal analizinde kullanılan Perkin Elmer Diamond TG/DTA Termal Analiz test cihazı	109
Şekil 2.15. Numunelerin termal analizinde kullanılan Perkin Elmer Diamond DSC cihazı	110
Şekil 2.16. ÜBBÖ kumaşların antistatik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan Fetronic Static Lab Tester ölçüm cihazı	111
Şekil 3.1. %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi	118
Şekil 3.2. %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi	119
Şekil 3.3. %99/1 Kermel®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi.....	120
Şekil 3.4. %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi	121
Şekil 3.5. %99/1 pamuk/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi	122
Şekil 3.6. %99/1 viskon/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi	123
Şekil 3.7. %99/1 Twaron®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi.....	124
Şekil 3.8. U1 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	126
Şekil 3.9. U1 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	127
Şekil 3.10. U2 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	128
Şekil 3.11. U2 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	129
Şekil 3.12. U3 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	130
Şekil 3.13. U3 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	131
Şekil 3.14. U4 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	132
Şekil 3.15. U4 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	133

Şekil 3.16. U5 kodlu kumaşın TG ve DSC eğrileri..	134
Şekil 3.17. U5 kodlu kumaşın DTG eğrisi ve DSC eğrisinin pik detayı..	135
Şekil 3.18. U6 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	136
Şekil 3.19. U6 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	137
Şekil 3.20. U7 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	138
Şekil 3.21. U7 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	139
Şekil 3.22. U8 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	140
Şekil 3.23. U8 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	141
Şekil 3.24. U9 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	143
Şekil 3.25. U9 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	144
Şekil 3.26. U10 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	145
Şekil 3.27. U10 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	146
Şekil 3.28. U11 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri..	147
Şekil 3.29. U11 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı..	148
Şekil 3.30. ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenliği değerleri.....	152
Şekil 3.31. ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği ve su buharı geçirgenlik direnci test sonuçları	154
Şekil 3.32. ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği ve kumaşların hava geçirgenliği arasındaki ilişki	155
Şekil 3.33. Çok katmanlı koruyucu giysi simülasyonunun bağıl su buharı geçirgenliği ve su buharı geçirgenlik direnci arasındaki ilişki.....	158
Şekil 3.34. ÜBBÖ kumaşların termal direnç test sonuçları	161
Ek Şekil 1. 45X büyütme oranında %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin yanal görüntüsü.....	195
Ek Şekil 2. 45X büyütme oranında %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin yanal görüntüsü.....	195

Ek Şekil 3. 45X büyütme oranında %99/1 Kermel®/karbon lifi karışım ipliğinin	
yanal görüntüsü.....	196
Ek Şekil 4. 45X büyütme oranında %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon	
lifi karışım ipliğinin yanal görüntüsü.....	196
Ek Şekil 5. 45X büyütme oranında %99/1 viskon/karbon lifi karışım ipliğinin	
yanal görüntüsü.....	197
Ek Şekil 6. 45X büyütme oranında %99/1 pamuk/karbon lifi karışım ipliğinin	
yanal görüntüsü.....	197
Ek Şekil 7. 45X büyütme oranında %99/1 Twaron®/karbon lifi karışım ipliğinin	
yanal görüntüsü.....	198
Ek Şekil 8. 10X büyütme oranında U1 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri....	199
Ek Şekil 9. 10X büyütme oranında U2 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.....	199
Ek Şekil 10. 10X büyütme oranında U3 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri ...	200
Ek Şekil 11. 10X büyütme oranında U4 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri ...	200
Ek Şekil 12. 10X büyütme oranında U5 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri ...	201
Ek Şekil 13. 10X büyütme oranında U6 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri ...	201
Ek Şekil 14. 10X büyütme oranında U7 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri ...	202
Ek Şekil 15. 10X büyütme oranında U8 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri ...	202
Ek Şekil 16. 10X büyütme oranında U9 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri ...	203
Ek Şekil 17. 10X büyütme oranında U10 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri .	203
Ek Şekil 18. 10X büyütme oranında U11 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri .	204
Ek Şekil 19. U1 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	205
Ek Şekil 20. U2 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	205

Ek Şekil 21. U3 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	206
Ek Şekil 22. U4 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	206
Ek Şekil 23. U5 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	207
Ek Şekil 24. U6 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	207
Ek Şekil 25. U7 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	208
Ek Şekil 26. U8 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	208
Ek Şekil 27. U9 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	209
Ek Şekil 28. U10 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	209
Ek Şekil 29. U11 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000	
devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri	210

GİRİŞ

Koruyucu giysilerin temel işlevi insanları çalışma ortamında maruz kaldıkları tehlikeli ve zarar verici etkenlerden koruma sağlamasıdır. Tehlikenin veya zarar verici etkinin büyüklüğüne göre koruyucu giysiler sınıflara ayrılmıştır. Koruyucu giysiler yüksek koruma seviyeleri ve esnekliğe sahip olma avantajları bulunmakla birlikte çoğunlukla termofizyolojik konfor parametreleri açısından ihmal edilmişlerdir. Koruyucu giysiler itfaiye ve polis gibi kamu kurumlarında veya muhtelif sanayi dallarında (kimya, çelik, alüminyum vb.) çalışanların, sağlık ve güvenliklerini dıştan gelecek zararlı etkilere karşı korumak amacıyla üretilen giysilerdir. Koruyucu giysilerin kullanıcıyı koruma işlevini yerine getirirken giyim konforunu da sağlaması beklenmektedir.

Giysi konforu; ısııl açıdan farklı çevre koşulları ve aktivitelere bağlı olarak vücut ile çevresi arasında uygun ısı ve nem geçişini sağlayarak, vücudun sıcaklık ve nem dengesini koruması olarak adlandırılır. Kişinin kendini konforlu hissedebilmesi için ortam sıcaklığı, nem seviyesi, hava geçirgenliği gibi çevresel faktörlerle uyum içerisinde olması gerekmektedir. İnsan vücudu ile direkt temas halinde olan kumaşların, oluşan ısıyı ve nemi transfer edebilecek kabiliyete sahip olması gerekmektedir. Böylece gerekli termofizyolojik konfor elde edilmiş olacaktır. İnsanların fizyolojik olarak kendilerini konforlu hissetmeleri, giysilerinde bulunan terin buharlaşarak uzaklaşması ve sıcak ortamdayken ya da faal durumda hareket halindeyken, vücudun aşırı ısınmasının önlenmesine bağlıdır.

Çalışma şartları dikkate alındığında koruyucu giysilerin kullanıldığı işletmeler genellikle sıcak ve nemli olmaktadır. Dolayısıyla terleyen bedenden sıvı iletimi koruyucu giysi tasarımı açısından en önemli kriterlerin başında gelmektedir.

Bu açıdan koruyucu giysilerde astar tasarımı önem taşımaktadır. Koruyucu giysilerin astar tasarımında lif tipi ve kumaş yapısı dikkate alınması gereken önemli kriterlerdir. Fonksiyonel liflerin kılcallık özelliği PES ve PP liflerinden daha iyi olduğu için nemi bedenden daha hızlı uzaklaştırıp bu sayede kullanıcıya konfor hissi sağlamaktadır. Bedendeki nem astar tarafından uzaklaştırılıp ıslaklığın vereceği rahatsızlık ortadan kalkmaktadır. Koruyucu giysiler insan vücudunu dış etkilerden korurken giysi ile beden arasındaki ortamda uygun konfor şartlarını sağlamalıdır.

Kumaş tasarımının giysinin fonksiyonel yapısı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Çok katlı kumaş yapıları tasarlanırken, vücutla temas eden kumaş katmanının hızlı bir şekilde vücuttaki teri emmesi diğer katmanların da vücuttan emilen teri hızlı bir şekilde dış ortama transfer etmesi ve vücuttan uzaklaştırması amaçlanmıştır. Koruyucu giysilerde, bu transfer mümkün olmadığı için tüm tasarımın astar kısmında öngörülerek uygun konfor özelliklerini sağlama işi; gerek kumaş yapısı, gerekse lif seçimi bazında dikkatle yapılmalıdır. Fonksiyonel liflerin seçimi ve kumaşla uyumu bu açıdan önem göstermektedir. Kumaşın ısı ve nem geçirgenlik özelliğinin yüksek olmasına bağlı olarak iyi bir termofizyolojik konfordan bahsedilir.

Üç boyutlu boşluklu örme (ÜBBÖ) kumaşlar örme kumaş teknolojisinde son yirmi yıllık dönemdeki en hızlı gelişen örme kumaş yapıları arasındadır. İki örme kumaş yüzeyi, hav iplikleri yardımıyla birbirine bağlanarak üç boyutlu bir yapı oluşturmaktadır. Genelde hav ipliği olarak monofilament veya multifilament iplikler kullanılabilir. Bu kumaşların en belirgin özellikleri yüksek hava geçirgenliği ve ısı özellikleri (termofizyolojik konfor), kalınlığı boyunca yayılma özelliği (resilience), yalıtım (ses ve ısı) özelliği, eğilme performansı ve dökümlülük olarak sıralanabilir. ÜBBÖ kumaşlar büyük oranda çözümlü örme teknolojisi kullanılarak üretilirken, 2000 yılından itibaren üretim elastikiyeti ve desen çeşitliliği nedeniyle yuvarlak örme makinelerinde de üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Üretilen ÜBBÖ kumaşın fiziksel ve mekanik özellikleri, örme teknolojisine göre farklılık arz etmektedir. Kullanılan iplik özelliklerine bağlı olmak üzere, hazır giyimden teknik tekstillere kadar çok geniş bir kullanım alanına hitap edebilen özel bir kumaş yapısına sahiptir. İç çamaşır, sutyen gibi hazır giyim ürünlerinin yanında, döşeme kumaş, tıbbî tekstiller, koruyucu giysiler, ses yalıtıcı profil olarak veya kompozit endüstrisinde hafif sandviç yapı olarak da kullanılabilen geniş bir kullanım potansiyeli mevcuttur.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, güç tutuşurluk ve termal konfor özellikleri ayrı ayrı katmanlarda farklı kumaşlar ile sağlanan ve ticari olarak kullanıma sahip çok katmanlı koruyucu giysiler için üç boyutlu örme kumaş yapıları kullanılarak multifonksiyonel yapıda farklı astar kumaşı tasarımlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın başlıca amacı, koruyucu giysilerin astar kısmında uygulanmak üzere; özel iplikler kullanılarak yuvarlak örme teknolojisi ile üretilen üç boyutlu boşluklu örme (ÜBBÖ) kumaşlara güç tutuşurluk, termofizyolojik konfor ve antistatiklik gibi multifonksiyonel özelliklerin tek bir yapıda kazandırılmasıdır.

1. BÖLÜM

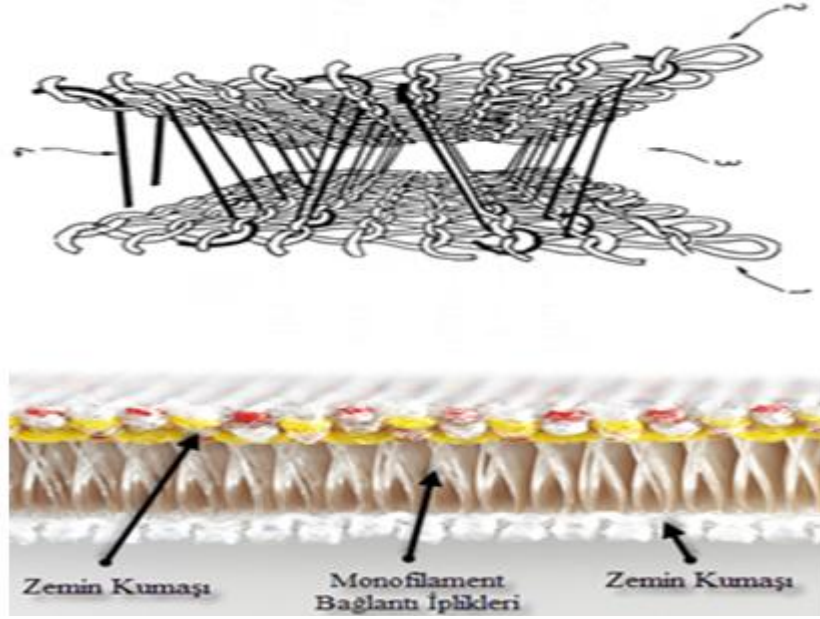
GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

1.1. Üç Boyutlu Boşluklu Örme Kumaşlar

Üç boyutlu boşluklu örme (ÜBBÖ) kumaşlar örme kumaş teknolojisinde son yirmi yıllık dönemdeki en hızlı gelişen örme kumaş yapıları arasındadır. Başka hiçbir kumaş yapısında bulunmayan spesifik özellikleri ÜBBÖ kumaşlara, inşaat sektöründen otomotiv sektörüne kadar bir çok alanda farklı ihtiyaçlarına yenilikçi çözümler kazandırma potansiyeli vermiştir. Kullanılan iplik özelliklerine bağlı olmak üzere, hazır giyimden teknik tekstillere kadar çok geniş bir alana hitap edebilen özel ÜBBÖ kumaşlar üretilmektedir. İç çamaşırı ve abiye gibi hazır giyim ürünlerinin yanında, döşeme kumaş, tıbbî tekstiller, koruyucu giysiler, ses yalıtıcı profil olarak veya kompozit endüstrisinde hafif sandviç yapı olarak da kullanılabilen geniş bir alanda kullanım potansiyeli mevcuttur.

1.1.1. Üç Boyutlu Boşluklu Örme Kumaş Yapısı ve Özellikleri

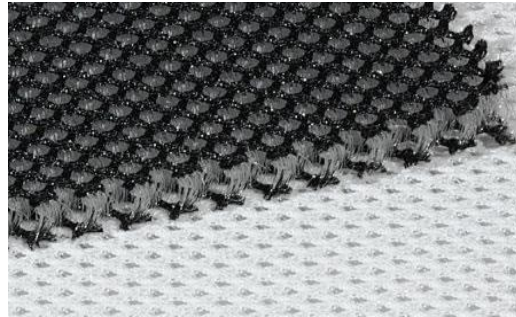
Üç boyutlu boşluklu örme kumaş (ÜBBÖ), iki örme kumaş yüzeyinin hav ipliği olarak nitelendirilen üçüncü bir iplik setiyle birbirine bağlanması sonucu oluşan üç boyutlu bir tekstil yapısıdır. Genelde, hav ipliği olarak monofilament ya da multifilament ipliklerle, yüksek performanslı, fonksiyonel veya sentetik lifler kullanılarak farklı profillerde üretilbilme imkânına sahip bu kumaş yapılarında, hav bölgesinde kullanılabilecek olan monofilament iplikler, kalınlık yönünde kumaş stabilitesini ve rijitliğini artırmaktadır (Şekil 1.1). Bunun yanı sıra, multifilament ya da kesikli liflerden üretilme ipliklerin kullanımı daha çok alt ve üst kumaşlarda tercih edilirken, ÜBBÖ kumaşın hav bölgesinde de kullanılabilmektedir [1].



Şekil 1.1. Üç boyutlu boşluklu örme kumaş yapısı [2, 3].

Üç boyutlu boşluklu örme kumaş yapıları, fiziksel ve mekanik özellikleriyle birbirinden farklı yapı ortaya koyan ve kullanım alanlarını farklılaştıran; açık ve kapalı yüzeyli olmak üzere iki biçimde üretilmektedir.

- Açık yüzeyli üç boyutlu boşluklu örme yapıları (Şekil 1.2), kalınlık yönünde maksimum hava geçişi sağlayacak yapıda olmasının yanı sıra, kapalı yapıya göre daha iyi dökümlülüğe ve deformasyon kabiliyetine sahiptir. Bu yapıların zemin kumaşı genelde altıgen ya da paralel kenar (rhombic) şekilde örülebilmektedir.



Şekil 1.2. Açık yüzeyli üç boyutlu boşluklu örme kumaş [4].

- Kapalı yüzeyli üç boyutlu boşluklu örme yapıları (Şekil 1.3), yüksek hav yoğunluğu ve her iki kumaş katmanının da yüksek örtücülüğüyle karakterize edilmektedir. Zemin kumaşları başta süprem örgü ya da türevleriyle ajursuz olarak üretilmektedir.

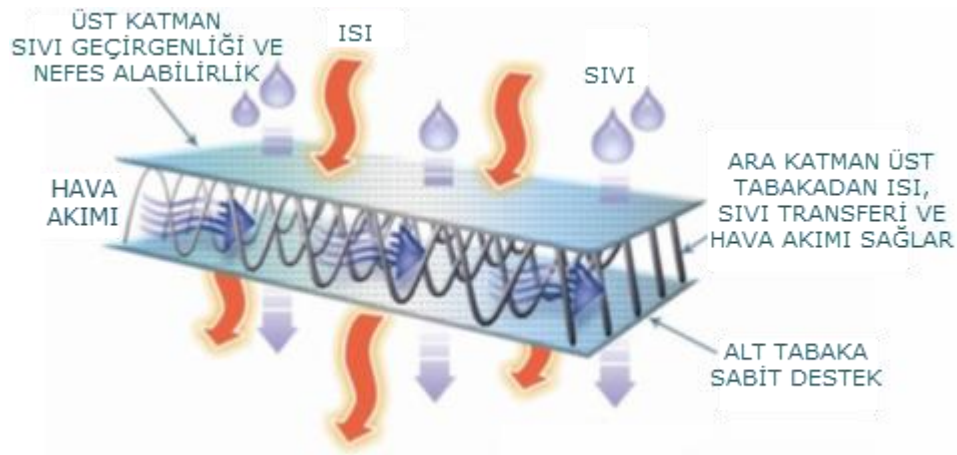


Şekil 1.3. Kapalı yüzeyli üç boyutlu boşluklu örme kumaş [5].

Philips et al. [6] ise açık ve kapalı ilmek yapıları çözgülü örme ÜBBÖ kumaşın hem mekanik özelliklerini araştırmışlar hem de modellemişlerdir. Kumaşın kompozit şeklinde analizini de yapmışlardır. Açılı ipliklerden ürettikleri açık-ağ örgülü çözgülü örme kumaşı kırıkların tedavisinde alçı olarak kullanımını önermişlerdir [6].

Üç boyutlu boşluklu örme kumaş özelliklerine etki eden parametreler sıralanacak olursa; hav bölümünde ve zemin kumaşında kullanılan iplik tipi, hav ipliğinin kumaşlarla bağlantı şekli ve hav sıklığındaki değişimler olduğu görülmektedir. ÜBBÖ kumaşları diğer tüm kumaş yapılarından ayıran spesifik özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Kumaş kalınlığının 1 – 60 mm ayarlanabilmesi,
- ✓ Zemin kumaşlarının birbirinden bağımsız istenilen biçimde tasarlanabilmesi,
- ✓ Kumaşın hafif bir yapıya sahip olmasının yanında, kalınlık yönünde esneyebilme ve yaylanma kabiliyetinin yüksek olması,
- ✓ Dıştan-içe ve içten-dışa hava akımına imkân sağlayan yapısı itibarıyla, hiçbir kumaş yapısının sunamayacağı oranda termal/termofizyolojik konfor sunması (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Üç boyutlu boşluklu örme kumaşlardan ısı, hava ve nem transferinin şematik gösterimi [7].

Sahip olduğu bu özellikler değerlendirildiğinde, üç boyutlu boşluklu örme kumaş yapısındaki havlı bölge vücut ile yüzey arasında mikroklimatik bir ortam oluşturmaktadır. Kumaşın tene temas edecek yüzeyinin sentetik lifler kullanılarak üretilmesi, ciltte biriken teri veya yüzey sıvısının hızlı biçimde dış ortama transferi bakımından bu sıvıların havlı bölgeye geçişini kolaylaştırmaktadır. Hav bölgesinin uzunluğu da dâhil, bu bölgede kullanılan ipliğin nem iletim kabiliyeti yüksek olursa, doğal lif esaslı veya takviyeli dış katman kumaşı bu sıvıları çabucak emecek ve vücutta termofizyolojik konfor sağlanmış olacaktır [8].

Üç boyutlu boşluklu örme kumaşların, üzerine etkiyen basıncı geniş alanlara yayabilme, dolayısıyla da noktasal etkileri mümkün olduğunca azaltabilme ve sıvıyla temasında onu hızlı biçimde hav bölgesine oradan da dış ortama taşıyabilme kabiliyeti, özellikle uzun süreli yatalak hastalarda sabit yatış ve vücutta meydana gelen sıvıların hava ve ısı transferinin sınırlandırılmasından ötürü deri üzerinde birikmesiyle meydana gelen antidekübitis hastalığının tedavisinde özel kullanım alanı sağlamaktadır.

1.1.2. Üç Boyutlu Boşluklu Örme Kumaş Yapılarının Üretim Yöntemleri

ÜBBÖ kumaşlar büyük oranda çözgülü örme teknolojisi (Raschel çözgülü örme makinesi) kullanılarak üretilirken, 2000 yılından itibaren üretim elastikiyeti ve desen çeşitliliği nedeniyle düz örme ve yuvarlak örme makinelerinde de üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. ÜBBÖ kumaşların interlok düzeninde çalışan çift plakalı yuvarlak örme makinelerinde üretimi mümkündür. Üretilen ÜBBÖ kumaşın fiziksel ve

mekanik özellikleri, örme teknolojisine göre farklılık arz etmektedir. Kumaş kalınlığı çözgülü örme ÜBBÖ kumaş kalınlığı 1 – 60 mm olabildiği halde, yuvarlak örme ÜBBÖ kumaş kalınlığı efektif olarak 1.5 – 6 mm (düz örme teknolojisi ile 30 mm'ye kadar) aralığındadır.

Önal [1], atkılı ve çözgülü örme üretim teknolojileri ve kabiliyetleri arasındaki farklılıklarını, Anand [9] ise bu iki örme teknolojisi kullanılarak üretilmiş ÜBBÖ kumaşların fiziksel özelliklerini kıyaslamıştır.

Pereira et al. [10] diz kapağı eklemlerindeki rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmak üzere geliştirilen farklı miktarda basınç ve ısıtma etkisi veren ÜBBÖ kumaşları incelemiştir. Düz örme, yuvarlak örme, çözgülü örme ve neoperen kaplı ÜBBÖ kumaşların özellikleri kıyaslanmıştır [10].

1.1.2.1. ÜBBÖ Kumaş Yapılarının Çözgülü Örme Teknolojisiyle Üretimi

Üç boyutlu boşluklu örme kumaş üretiminde ve bu kumaş yapısı üzerine gerçekleştirilen çalışmaların çoğunda Raschel çözgülü örme makineleri kullanılmıştır. Bu tip makinelerde üretim yüksek hızda, yüksek maliyette ve daha fazla yer ihtiyacında gerçekleşmiş olmakla birlikte; bu makinelerde üretilen ÜBBÖ kumaşların kalınlık ve hacim özellikleri ayarlanabilmekte, etkin bir nem transferi sağlamakta, yırtılma ve sökölme gerçekleşmemekte ve geniş enlerde çalışmaya imkân tanımaktadır [11].

ÜBBÖ kumaşların üretimini gerçekleştiren Raschel çözgülü örme makineleri, üretilcek kumaş yapısına ve kullanım yerine göre genellikle 2 – 6 rehber raylıdır. Makinelerin çalışma eni 84" – 130" aralığında olup, endüstriyel kumaşlar için E6 – E14; konfeksiyon endüstrisi için E18 – E32 incelik aralığındadır. Dakikadaki üretim hızları ortalama 2900 ilmek civarında olan bu makinelerde üretilen kumaşlarda 0.5 – 65 mm aralığında kalınlıklar elde etmek mümkündür [12].

Karl Mayer ve Liba firmaları üç boyutlu boşluklu örme kumaş üretimi sağlayan çözgülü örme makinelerini üreten iki büyük firmadır. Karl Mayer firmasının ürettiği RD 4 N model Raschel çözgülü örme makinesi, E22 – E32 aralığında inceliğe sahip, 450 – 500 rpm aralığında üretim hızında ve 93, 138 ve 170 inç olmak üzere üç ayrı endüstriyel kabiliyetine sahiptir. Bu makine 0.7 – 8 mm aralığında kumaş kalınlığına çıkabilmektedir [12].

HDR 6 EL ise, Karl Mayer firmasının yüksek kalınlıklarda (25 – 65 mm) ağır endüstriyel kumaşların üretimi için özelleşen Raschel çözgülü örme makineleridir. 105 cm çalışma enine sahip bu makineler, E12 inceliğinde 6 rehber raya kadar ÜBBÖ kumaş üretebilmektedir [12].

Liba firmasının ÜBBÖ kumaş üretimi için geliştirdiği DG506-15 model Raschel çözgülü örme makinesi, endüstriyel uygulamalar için ağır kumaşlar üretmektedir. 6 rehber raylı ve 330 cm' ye kadar enlerde çalışma olanağı sağlayan bu makine E16 inceliğindedir [12].

Liba firmasının konfeksiyon endüstrisi için ihtiyaç duyulan daha renkli ama ince ÜBBÖ kumaş üretimi için geliştirdiği Racop 4KE modeli ise, E32 inceliğinde ve 170 inç eninde bir Raschel çözgülü örme makinesidir [12].

ÜBBÖ kumaşların ticari olarak ilk çözgülü örme makineleri ile üretilmeye başlaması sebebiyle, ilk araştırmalar daha ziyade çözgülü örme ÜBBÖ kumaşların özellik ve kullanım alanları üzerine olmuştur.

Pause [13], otomobil döşemesi olarak kullanılan ÜBBÖ kumaşın termofizyolojik özelliklerini, standart örme kumaşla sarılmış süngerli yapı ile kıyaslamıştır. ÜBBÖ kumaşların yapısı köpüğe nazaran daha iyi ısı ve nem nakline imkân tanıdığını ortaya koymuştur [13].

Heide et al. [14] farklı iplikler kullanarak değişik kalınlık ve yapıda üretilen ÜBBÖ kumaşın ameliyathanelerde koruyucu örtü olarak kullanım performansını değerlendirmişlerdir. Kendisine ait ikinci çalışmada ise kumaşın temel özelliklerinin uygulandığı alandaki mamulün özelliklerine etkisi ve aralarındaki ilişkiyi araştırmıştır [8].

Bagherzadeh et al. [15] da ÜBBÖ kumaşların tıbbî tekstillerdeki kullanımını araştırmışlardır. Bu kumaşlara su itici ve anti-mikrobiyel özellik kazandıran apre kimyasalların etkisini araştırmışlardır [15].

Abounaim ve Cherif [16], cam ve polipropilen filament içeren hibrit ipliklerden düz örme makinesinde üretilme çok katmanlı, yenilikçi üç boyutlu spacer kumaşlardaki gelişmeleri inceleyen bir çalışma sunmuşlardır [16].

Liu et al. [17], insan vücudu koruması için geliştirilmiş çözgülü örme spacer kumaşların sıkıştırılma davranışı tespit etmek amacıyla deneysel bir çalışma yerine getirmişlerdir.

Spacer monofilament yönelimi, inceliği ve kumaş kalınlığı dâhil değişken yapısal parametrelerde ve yüzey katman yapısında çift iğne raylı bir Raschel çözümlü örme makinesinde üretilen kumaşlar üzerinde gerçekleştirilen test sonuçları; bu kumaş yapılarının yüksek enerji emilim kapasitesi ve temas pik kuvveti azalımından dolayı vücut korunumunda etkin bir malzeme olarak kullanılabileceğini göstermiştir [17].

Guo et al. [18], çözümlü örme spacer kumaş yapısının (farklı yüzey ilmekleri, kumaş kalınlığı ve spacer iplik çapı) darbe ve darbe sonrası sıkışma özelliğine etkisi üzerine yaptıkları çalışmalarında, çift iğne raylı Raschel çözümlü örme makinesinde üretilen kumaşlara düşük hızda darbe testleri gerçekleştirmişlerdir [18].

Guo et al. [19], çift iğne raylı Raschle çözümlü örme makinesinde üretilen ve aynı kumaş parametrelerine sahip (kalınlık, sıklık, ham madde vs.) üç boyutlu kumaşların spacer iplik düzenindeki farklılıkların kumaş sıkıştırma dayanımına etkisini de incelemişlerdir [19].

Xuyong et al. [20], üç boyutlu boşluklu çözümlü örme spacer kumaşların örgü sıklığı, kalınlığı spacer yapısı ve saplama mukavemeti arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla yarı statik saplama testleri gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, çözümlü örme spacer kumaşların kalınlık ve sıklıkları ile spacer katman yapısının sıkıştırılma özelliğinin saplama dayanımına etkiyen başlıca faktörler olduğunu göstermiştir [20].

1.1.2.2.ÜBBÖ Kumaş Yapılarının Atkılı Örme Teknolojisiyle Üretimi

ÜBBÖ kumaşın atkılı örme teknolojisiyle üretimi için çift plakalı ve en az çift kam yollu örme makinesine ihtiyaç vardır. Bu kumaş yapılarının üretimi gerek düz örme gerekse de yuvarlak örme makinelerinde de gerçekleştirilebilmektedir. Atkılı düz örme makinelerinde kumaş katmanları arasındaki mesafenin yükseltileme imkânı aynı aralıkta yuvarlak örme makinelerindeki kadar olamamaktadır. Bu mesafe spacer ipliğin ilmek uzunluğunun artmasıyla sınırlanmaktadır. Böylece elektronik düz örme makinelerinde üretilen üç boyutlu kumaşların fiziksel özellikleri; iplik kombinasyonu, gerginlik ve yıkama işlemiyle önemli derecede etkilenmektedir [21]. Bu makine tiplerinde ÜBBÖ kumaş üretiminde, farklı iplik türleri kullanılabilmekte, kolay ve sınırsız desenlendirme elde edilebilmekte, iki kumaş katmanı arasına dolgu ipliği beslenebilmekte ve kumaşlar istenilen ebatlarda kesilebilmektedir. Ancak tüm bu avantajların yanında, kumaş üretim hızı ve iplik besleme sayısının düşük olması, makine yapısının karmaşık ve teçhizatın

pahalı olması ve üretilen kumaşlarda sökük ve kaçıkların meydana gelebilmesi gibi dezavantajları da mevcuttur [11].

Stoll firmasının ürettiği CMS 530 model elektronik düz örme makinesi (Şekil 1.5), üç boyutlu boşluklu örme kumaş üretimine olanak sağlayan, E 5.2 – E 9.2 inceliğine sahip, 50 inç' e kadar ende çalışmaya imkan tanıyan, üç sistemli bir düz örme makinesidir [22].



Şekil 1.5. Stoll firmasının ürettiği CMS 530 model elektronik düz örme makinesi [22].

ÜBBÖ kumaşların geliştirilmesi her ne kadar çözgülü örme makinelerinde olmuşsa da, yuvarlak örme makinesi üreticileri de gittikçe genişleyen bu pazardan pay almaya yönelik olarak özellikle son on yıl içerisinde büyük mesafeler kat etmişlerdir.

Yuvarlak örme makinesinde kumaşın hav bölgesinin kalınlığı; hav iplik uzunluklarının da doğru orantılı şekilde uzun olacağı; silindir ve kapak yatakları arasındaki mesafeye bağlıdır. Ayrıca, istenilen desen raporuna bağlı olarak atlama ve askı ilmek yapılarıyla her iki kumaş yüzeyinde renkli ve jakar motifli üretime imkân sağlanmaktadır. Yuvarlak örme makinelerinde kapak yüksekliği ve spacer ipliğinin tipinin; kumaş ağırlığı, termal iletkenlik, hava geçirgenliği ve bağıl su buharı geçirgenliği gibi özellikler üzerine önemli bir etkisi vardır [23].

Yuvarlak örme makinesinde ÜBBÖ kumaşların üretiminde, kesikli liflerden üretilme veya kalın ipliklerin kullanılabilme ve kolay desenlendirme olanağı, dökümlü yumuşak kumaşların elde edilmesi ve makinenin yer ihtiyacının az olması gibi avantajlar mevcuttur. Öte yandan, makinede üretilen kumaşların boyutsal stabilitelerinin düşük olması, yine düz örme makinesinde olduğu gibi kumaşlarda sökük ve kaçıkların meydana gelebilmesi, hav ipliği olarak monofilament kullanıldığında kumaşın

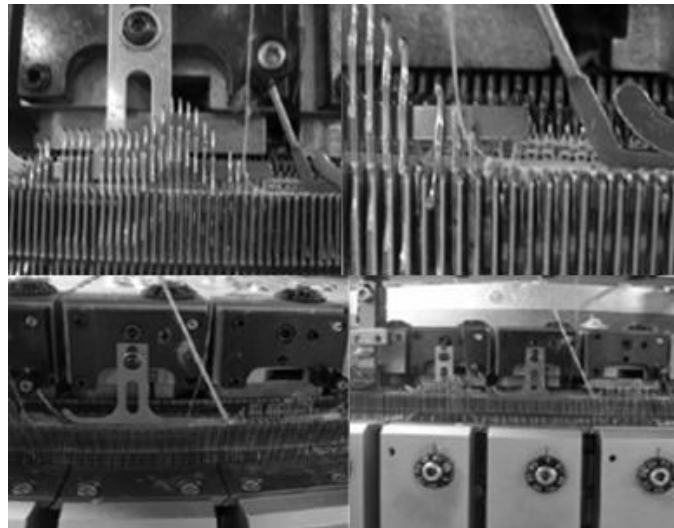
rijitleşmesi ve dökümlülüğünü kaybetmesi ve sadece tek bir ende kumaş üretimine olanak sağlaması gibi dezavantajları da mevcuttur [11].

Bu tip makinelerde ÜBBÖ kumaş üretimi gerçekleştirmek için en az üç ayrı iplik besleme sistemine ihtiyaç vardır. Bu sistemlerden sağılan iplikler zemin kumaşlarını ve kalınlık yönünde hav bölgesini oluşturacaklardır.

Yuvarlak örme makinesinde ÜBBÖ kumaşların üretim prensibi iki şekildedir [24, 25]:

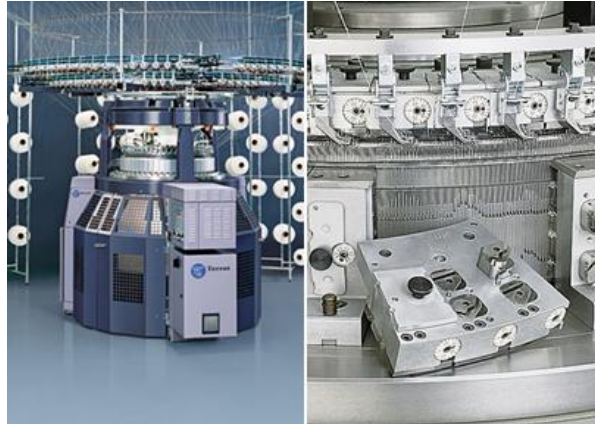
- ÜBBÖ kumaşın zemin kumaşlarının, sırasıyla silindir ve kapaktaki kısa ve uzun iğnelerin ilmek oluşturmasıyla üretilmesi ve bu esnada silindir ve kapaktaki kısa ve uzun iğnelerin askı hareketiyle beraber hav bölgesinin oluşturularak, kumaş yüzeylerinin birbirine bağlanması şeklinde ve
- Vanize tekniğiyle kısa ve uzun kapak iğnelerinin sırasıyla ilmek oluşturması esnasında bağlantı ipliklerinin burada ilmek oluşturması ve aynı zamanda kısa ve uzun silindir iğnelerinin bir yandan zemin kumaşının ilmeklerini oluştururken, bağlantı ipliğinin burada askı oluşturması şeklindedir [24, 25].

Mayer & Cie marka yuvarlak örme makinelerinde ÜBBÖ üretimi için silindir ve kapak iğne yatakları arasına bu yatak iğnelerinin ilmek meydana getirmesiyle meydana gelecek hav bölgesindeki ilmeklerin ötelenerek kumaş yüzeylerinin örgü oluşum bölgesine kaymasının engellenmesi ve kumaşlar arası açıklığın sabit kalmasını sağlamak için “spacer aparatı” adı verilen özel bir parça kullanılmaktadır (Şekil 1.6) [26].



Şekil 1.6. Mayer & Cie firması tarafından geliştirilen spacer aparatı [26].

Terrot firmasının 30 inç çapında, 84 sistemli, silindirde 4 yollu, kapakta ise 2 yollu olarak tasarladığı I3P254 model çift plakalı yuvarlak örme makinesi (Şekil 1.7), kumaş kalınlığı en fazla 5,5 mm olabilen ÜBBÖ kumaş üretimine imkân sağlamaktadır [27].



Şekil 1.7. Terrot firmasının ÜBBÖ kumaş üretimine imkan tanıyan I3P254 model çift plakalı yuvarlak örme makinesi [27].

Monarch firmasının LEC4B ve LEC4D elektronik kontrollü yuvarlak örme makineleri, ÜBBÖ kumaşların üretimi için önerilmektedir. LEC4B serisi makinelerin silindir iğneleri elektronik olarak kontrol edilebilen 3 yol tekniği ile kapak iğneleri ise iki yollu desenlendirme yapabilmektedir. LEC4D 38 inç çapında ve 60 besleme olarak sunulmaktadır [28].

Mayer & Cie firmasının geliştirdiği Technit D3 model, ÜBBÖ kumaş üretimi için geliştirilmiş yuvarlak örme makinesi, her beslemede 3 ipliği 3 kat örebilme kabiliyetine sahip olup, 18 rpm hızına kadar üretime imkân sağlamaktadır. 30 – 34 inç çapında, E18 – E 22 inceliğe sahip bu modelde 4 iğne yollu silindir kam yatağı ve 2 iğne yollu kapak kam yatağı mevcut olması, makinenin üretim esnekliğini artırmaktadır [26].

Orizio firmasının geliştirdiği MAT-E modeli, ÜBBÖ kumaş üretimine imkân sağlayan çift yataklı yuvarlak makinesinin silindir iğneleri elektronik kontrollü olup, 38 inç çapındadır. E18 – 28 inceliğinde ve 10 mm yüksekliğe kadar kumaş kalınlığı sunabilen bir modeldir [29].

Kowolski ve Bednarski [30], havlı orta tabakada kullanılan monofilament iplik çapının yuvarlak örme makinesinde üretilen ÜBBÖ kumaşın boyutsal özellikleri, kalınlığı ve gramajına etkisini incelemiştir [30].

Araujo et al. [31], multifonksiyonel bir yapı elde etmek amacıyla, zemin kumaşlarında ve hav bölgesinde farklı iplik tipleri kullanarak düz örme makinesinde üç boyutlu boşluklu örme kumaş yapılarının üretimi üzerine çalışmışlardır [31].

Araujo et al. [32], sağlık, spor, kişisel korunma, teknik giysiler, beton destek elemanı olarak kullanıma dönük düz örme makinesinde üretilen özel ÜBBÖ kumaşlar tasarlamışlardır. Hav bölgesini diğer tüm örme teknolojilerinde üretilenlerden farklı olarak, kullanım alanına göre farklı geometri ile tasarlamışlardır [32].

Önal ve Korkmaz [33], yatak kumaşı olarak kullanılan polyester ÜBBÖ kumaşın boyutsal ve boncuklanma özelliklerini üç katlı kapitone kumaşlar ile kıyaslamışlardır [33].

Crina et al. [34], çift iğne yataklı elektronik düz örme makinesinde farklı ipliklerle ve farklı yapılarda ürettikleri üç boyutlu boşluklu örme kumaşlarda, kumaşların farklı yapı parametrelerinin termal konfor özelliklerine etkisini incelemişlerdir [34].

1.2. Koruyucu Giysiler

Koruyucu tekstiller, zararlı maddeler ve olumsuz çevre koşulları gibi yaşam için tehdit oluşturan unsurlara karşı korumayı amaçlayan giysiler, örtüler, çadırlar ve bir takım donanımları kapsamaktadırlar. Kullanım açısından; alevden koruma, balistik koruma, biyolojik ve kimyasal zararlılardan koruma, nükleer etkilerden koruma, atıklardan koruma, statik elektriklenmeden koruma, yüksek voltajdan koruma, kamuflaj, kesici darbelere karşı koruma ve düşük hızlı etkilere karşı korumayı hedeflemektedirler. Sahip olmaları gereken yapıya bakıldığı zaman; mümkün olduğunca hafif ve kompakt; bununla birlikte, konforlu ve sağlam olması da istenmektedir. Farklı kullanım özellikleri doğrultusunda, kendine özgü kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip yenilikçi ve yüksek performanslı liflerden üretilen giysiler kullanılmaktadır. Şekil 1.8’ de çeşitli sanayi dallarında koruma amaçlı kullanılan farklı işçi tulumları gösterilmiştir. Bu koruyucu giysilerin kullanımı, farklı meslek gruplarındaki çalışanların sağlığı ve güvenliği açısından önemini günden güne artırmakta, meydana gelecek kazalarda hasarı en düşük

seviyede tutmak ve daha büyük felaketlerin önüne geçmek için bu ürünlerin kullanımı yönündeki bilinçlenme de git gide artmaktadır [35].



Şekil 1.8. Çeşitli sanayi dallarında kullanılan koruyucu giysiler.

Aktif çalışma hayatında koruyucu giysiler kullanıcıyı sıcaktan, soğuktan ve rüzgâr gibi ekstrem koşullardan korumalıdır. Dikkate alınması gereken faktörler; hava sıcaklığı, termal radyasyon, nem ve rüzgâr hızıdır. Dolayısıyla, koruyucu giysi tasarımı böylece iklimatik etkilerle uyumlu halde olmalıdır. Koruyucu giysi için tasarlanmış bir kumaş giyim boyunca maruz kalınan belirli mekaniksel kuvvetleri kaldırabilmelidir. Materyalin ve üzerindeki dikişlerin mekaniksel kuvvet değerlendirilmesinde; çekme kuvveti, sürtünme direnci, yırtılma ve dikiş mukavemeti gibi durumlar göz önünde bulundurulur. Bu parametreler koruyucu giysilerin dış katmanı için özel önem arz etmektedir. Koruma fonksiyonuna rağmen taşıyana en pratik giyim konforunu sağlaması istenir. Sonuç olarak, giysi kumaşı her birim alanda bu özelliği göstermelidir. Üstelik her durumda ve ortamda formunu da korumalıdır. Bu sadece giysi için değil, aynı zamanda koruyucu miğfer, güneşlik, çorap ve eldivenler için de geçerlidir. Temizlik amaçlı yıkama sonucu giyside ortaya çıkabilecek boyutsal değişim, kullanıcının rahatça hareket edebilmesi için minimuma indirilmelidir. Aşınma dayanımı, koruyucu tekstil materyali için oldukça önemli bir mekanik özellik olup, depolama ya da genel kullanım boyunca yavaşça gerçekleşmektedir. Koruyucu giysinin astar kısmında giyim süresince yoğun bir terleme gerçekleşecek olursa, aşınmayı hızlandırıcı etki gösterebilir [36].

Tehdit oluşturan etmenlere karşı koruma amaçlı giysi sistemleri, her biri kullanım yerine göre değişen farklı bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bağlamda, kişisel koruyucu giysi ve donanımları farklı sınıflara ayrılmaktadır. Kişisel koruyucu giysileri aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür [37]:

- Tam kapsamlı koruyucu giysiler; bot veya eldivenler dâhil tek parça halindeki giysilerdir.
- Kapsam dışı koruyucu giysiler; başlık, maske ve önlüğü kapsamaktadır.
- Eldivenler, botlar ve başlıklar,
- Koruyucu itfaiyeci giysileri; eldiven, kask, ceket ve maske içerisine dâhildir.
- Alevden koruyucu giysiler; alüminize edilmiş pamuk veya nylondan yapılmış başlık, eldiven, bot örtücü ile oluşturulmuş, bir ya da iki parçalı giysilerdir.
- Balistik giysiler; koruyucu yelek, giysi, bomba örtüsü ve teçhizatından oluşmaktadır.
- Radyasyondan koruyucu giysiler.

1.2.1. Koruyucu Giysi Uygulamaları

Günümüzde koruyucu tekstil pazarında yerini almış nitelikli birçok ürün mevcuttur. Alman Klopman firması tarafından geliştirilmiş olan Firestrike 245 (Şekil 1.9), kalıcı ve doğal alev geciktirici etkisinin yanında anti-statik özelliğe sahip, sıvı kimyasallara karşı koruyucu nitelikleri bir arada barındıran multi-fonksiyonel bir koruyucu giysidir. Spesifik olarak, geniş uygulama aralığında çalışanlar için koruyuculuğun artması amacıyla tasarlanan Firestrike 245, hafif gramajlı ve yapısında %99 Kermel® lifi ve buna ek olarak; %1 antistatik bir lif barındırmaktadır. Yine aynı firma tarafından üretilen, Hydrofoil® sıvı kimyasal sıçramalarına dayanıklı apre malzemesidir. Kermel® lifinin sahip olduğu inert özelliğiyle birleşerek, çoğu kimyasal maddelerin sebep olduğu kumaş bozunmasından extra koruma sağlamakta ve aynı zamanda kirlenmenin azaltılmasına da yardımcı olmaktadır [38].



Şekil 1.9. Firestrike 245 – Yüksek performanslı multi-koruyucu alev geciktirici kumaş [38].

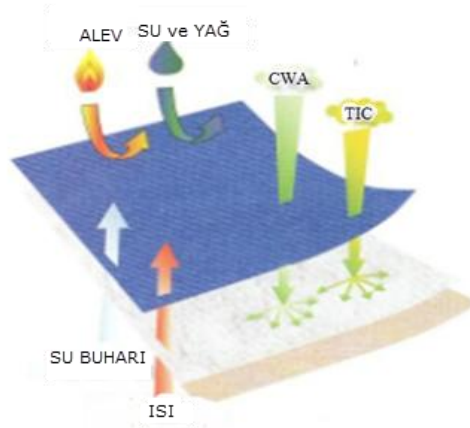
Alman Karcher Futuretech firmasının resmi ve askeri savunma güçleri için ürettiği CBRN koruyucu giysisi Şekil 1.10’ da görülmektedir [39].



Şekil 1.10. SAFE, New Semi-Permeable CBRN koruyucu giysisi [39].

Bu koruyucu giysi, aktif karbon filtre dâhil edilmiş iki katlı bir sistemi (Şekil 1.11) esas almaktadır. Bu sistem, onaylanmış bir koruyucu sistem olması ve geniş bir aralıktaki CWA (Kimyasal Savaş Maddesi)’ ya karşı koruma sağlaması bakımından avantajlara sahipken, ıslak durumda azalan koruma özelliği, TIC (Toz Kimyasal)’ ye karşı koruma sağlamaması ve düşük rejenerasyon kabiliyeti bakımından dezavantajlara sahiptir. Bu giysi sistemi üzerinde son dönemde; optimize edilmiş kabuk kumaş, yeni emici özellikteki materyal ve gelişmiş astar kumaşını temel alan yenilikler meydana getirilmiştir. Bu yenilikler; yenilikçi koruyucu sistem, yüksek dayanıma sahip hafiflik,

önemli ölçüde giyim konforu, geniş bir aralıktaki CWA' ya ve TIC' ye karşı koruma ve yüksek rejenerasyon kabiliyetiyle, ıslak ve kuru halde yüksek emicilik performansı gibi özellikleri beraberinde getirerek büyük avantaj sağlamaktadır [39].

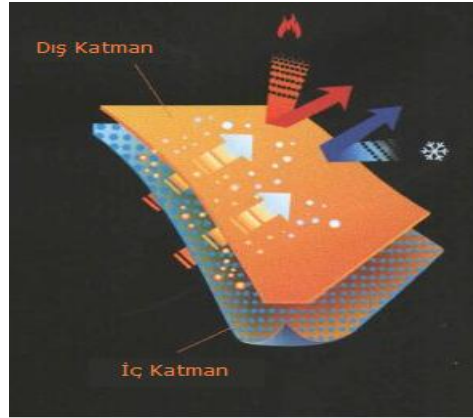


Şekil 1.11. Resmi ve Askeri Savunma Güçleri için CBRN koruyucu giysi katmanları [39].

İtalyan SpinTech INT' L firması tarafından sunulan fire HOOD 2® çok katmanlı koruyucu giysi sistemi (Şekil 1.12), iki tabakadan meydana gelmekte ve dış katmanı %60/40 Kevlar®/PBI® lif karışımından 200 g/m² yüzey yoğunluğunda, iç katmanı ise %45/35/20 Lenzing FR®/MicroTwaron®/İpek karışımından 150 g/m² yüzey yoğunluğunda interlok örgüyle üretilmiştir [40].

EN 13911: 2004 standardına uygun performans gösteren bu üründe, dış katman kumaş aleve ve yüksek sıcaklığa karşı yüksek dayanım göstermekte ve sıvıların sistemin içerisine penetrasyonuna maksimum düzeyde engel teşkil etmektedir. İç katman kumaş vücutta aktivite sonucu meydana gelecek olan teri ve su buharını dış ortama rahatlıkla transfer edecek biçimde tasarlanmıştır [40].

Firmanın sunduğu bir diğer ürün olan tek katlı fire SNOOD® koruyucu kumaş, PBI Gold HDS 200 adıyla %60/40 Kevlar®/PBI® karışımında, 200 g/m² yüzey yoğunluğunda, interlok örgüyle; Woolzole PM 200 adıyla, %80/20 Merinos yünü/Pbi® karışımında, 200 g/m² yüzey yoğunluğunda, Punto Milano örgüde; PBI Comf HDS 200 adıyla, %60/40 m-Aramid/Pbi® karışımında, 200 g/m² yüzey yoğunluğunda, interlok örgüyle farklı profillerde üretilmektedir [40].



Şekil 1.12. fire HOOD 2® koruyucu giysi sisteminin kumaş katmanları [40].

1.2.2. Koruyucu İtfaiyeci Giysisi Tasarımı

İtfaiyeci giysileri, en önemlisi ısı ve alev karşı koruma sağlama gibi birçok fonksiyonu bir arada gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Söndürme yöntemi tipine bağlı olarak neme karşı koruma ayrıca önem arz etmektedir. Aynı zamanda, kesme ve aşınma gibi mekanik tehlikelere karşı da bir derece koruma sağlamalıdır. Bunlara ek olarak, kimyasal ve biyolojik temaslara karşı önleyici olması da gerekmektedir. Yangınlara veya daha da kötü senaryolara karşı kişisel koruyucu donanımın multi-fonksiyonel koruma özelliğinin tasarımı, itfaiyeciler için yapılan iş süresince üst düzey koruma sağlayacak biçimde gerçekleştirilmelidir [41].

Yerine getirilen görevin mahiyetine göre itfaiyeciler geniş çapta tehlikelere maruz kalmaktadır. Olası tehlikeler şöyle sıralanabilir [42]:

- Fiziksel tehlikeler (metal ve duvar çöküntüsü, ağır donanımlarla çalışma, su üstü ve su altı çöküntüler, kaymalar ve düşmeler)
- Termal tehlikeler (soğuk havaya maruz kalma, sıcaklık baskısına sebep olan hava ve çevre sıcaklığı, sıfırın aşağısındaki sıcaklıklar)
- Alev ve ısı ile ilişkili tehlikeler
- Kimyasal tehlikeler (gaz kaçağı, açıkta bırakılmış solventler)
- Biyolojik tehlikeler (bakteri içeren suya doğrudan temas, yaralanmalar, bulaşıcı hastalığı olan yaralılarla temas).

ISO TC 94/SC 14/WG 3 standardı, itfaiyeciler için optimal koruyucu giysi kriterlerini sunmaktadır. Buna göre, giysi tabakalarının aşağıda verilen hususiyetleri sağlaması beklenir [43]:

- Terin buharlaşmasına imkân sağlamalı, hafif olmalı, çok iyi havalandırma ve su buharı geçirgenliği sağlamalıdır.
- İtfaiyecileri çevresel ısıya karşı korumalıdır.
- Metabolik ısıyı tamamıyla yaymalıdır.
- Geniş spektrumda alev yoğunluğunda ve zorlu hava şartlarında konforu ve vücudun termal dengesini sürdürebilmelidir.
- Yanık riskini en aza indirmelidir.

1.2.2.1. Koruyucu İtfaiyeci Giysisi Katmanları

Koruyucu itfaiyeci giysisi bileşenleri genellikle güç tutuşur bir dış tabaka, bir nem bariyeri ve termal bir bariyerden oluşan bir iç katman ve bedenle temas halinde olan astar kısmından oluşmaktadır.

(1) Dış Katman

Koruyucu itfaiyeci giysisinin dış tabakası aleve karşı savunma yapan ilk yerdir. Alev geciktirici, termal direnç ve kesmeye, yırtılmaya ve aşınmaya karşı mekanik dayanım gibi birçok özelliği bir arada sağlamalıdır. Koruyucu giysisinin dış katmanı mutlaka çevresel ısıyı iç tabakalara iletmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Günümüzde, itfaiyeci giysisinin dış katmanı için sadece doğal güç tutuşur özellikte olan, aromatik polyamidler (aramidler) ve polibenzimidazol (PBI) gibi lifler kullanılmaktadır [41]. Bunların yanı sıra, özellikle yüksek termal direnç ve güç tutuşur özellik sağlama adına günümüzde kullanılan çok sayıda yüksek performanslı ve fonksiyonel lifler mevcuttur. Bu lifler ile ilgili ayrıntılı bilgiler, koruyucu giysilerde kullanılan lifler kısmında verilmiştir.

(2) Nem Bariyeri

Koruyucu itfaiyeci giysisinde nem bariyer katmanı, dış katman kumaşın içerisine lamine edilmiş veya kaplanmıştır. Termal astarın dış kısmına veya astar ve dış katman kumaşları arasında gevşek biçimde yerleştirilmiş hafif örme kumaş veya ağdan ibarettir. Nem bariyeri suya karşı koruma özelliğinin yanı sıra, bazı kimyasal sıvı ve patojenlere

karşı da sızdırmazlık sağlamalıdır. Bu katman mikro gözenekli yapıda veya hidrofilik membran ya da kaplama olabilir [44, 45].

Mikrogözenekli politetrafloretillen ile birlikte lamine edilmiş GORE-TEX®, CROSSTECH® ve TETRATEX® tekstiller, PORELLE®, PROLINE® ve VAPRO®, kumaşlara lamine edilmiş mikrogözenekli yapıda poliüretan ürünler, BREATHE-TEX PLUS® ve STEDAIR 2000® ise kumaşlara lamine edilen veya kaplanan hidrofilik poliüretan ürünler olmak üzere nem bariyeri sağlamak için kullanılabilir [41].

(3) Termal Astar

Termal astar, koruyucu itfaiyeci giysisinde çevreden vücuda ısı transferini engelleme görevini yerine getirmektedir. Farklı tekstil yapılarında üretilebilmesinin yanında, ısıya karşı en yüksek yalıtımı sağlamak için astar ve dış katman arasında örme bir kumaş olabilir. Ancak, aynı zamanda terlemeden kaynaklanan nem transferine de imkân sağlayacak yapıda olmalıdır. Termal astar, genellikle doğal güç tutuşur özellikte kumaşlar veya onların karışımından yapılmaktadır. Termal astar ve dış katman kumaş ile benzer lif bileşimi giysinin yıkanabilirliğini kolaylaştırmaktadır [41].

1.2.2.2. İtfaiyeci Giysisi Tasarım Özellikleri

İtfaiyeci giysisinin de dâhil olduğu koruyucu giysi sistemlerinden istenen talepler doğrultusunda aşağıdaki hususiyetleri karşılamalıdır [46]:

- Çevresel etkilere karşı etkin koruma,
- Termofizyolojik konfor sağlama (Şekil 1.13),
- Multifonksiyonel parçalar olarak kabul edilen giysi parçalarının tam entegrasyonu (Şekil 1.13),
- Giysi montajında farklı bileşenler arasında gelişmiş uyum (Şekil 1.13),
- Özellikle yük taşıma sistemleri ve balistik koruyucu giysilerde daha düşük ağırlık ve hacimlilik,
- Üretim maliyetlerindeki azalma.

Koruyucu giysi üretiminde göz önünde bulundurulması gereken tasarım parametreleri şunlardır:

(1) Giysi Tasarımı

(2) Malzemenin Kimyasal Direnci

(3) Fiziksel Özellikler

1.2.2.2.1. Giysi Tasarımı

Koruyucu giysi seçiminde büyük önem arz eden tasarım parametreleri şunlardır:

- ❖ Giysinin şekli,
- ❖ Giysi bileşenleri ve opsiyonları,
- ❖ Giysi bedenleri,
- ❖ Giyinme ve çıkarma kolaylığı,
- ❖ Giysi yapısı,
- ❖ Montajlanacak giysi kısımlarının birbirlerine uyumu,
- ❖ Konfor
- ❖ Hareketi kısıtlayıcı etmenler

Bu faktörler tasarım açısından belirleyici olmakla birlikte, hiçbir koruyucu donanım ve giysi kombinasyonu tek başına tüm tehlikelere karşı bireyi koruyamaz. Bu nedenle, koruyucu giysiler diğer koruyucu yöntemlerle birleşim içinde kullanılmalıdır [37].

1.2.2.2.2. Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Direnci

Koruyucu giysi üretiminde kullanılan malzemelerin geçirgenliğe, parçalanmaya ve sızıntıya karşı yüksek dayanım göstermelidir. Geçirgenlik süresi, malzemenin kimyasal uyumluluğunu değerlendirmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Geçirgenlik oranı; kimyasal konsantrasyon, malzeme kalınlığı, nem, sıcaklık ve basınç gibi birçok faktöre bağlı bir fonksiyondur. Ancak, sıcaklık ve basınç geçirgenliği artırıcı etki gösterir, dolayısıyla bu güvenlik faktörü büyüklüğünü azaltmaktadır. Kimyasal madde veya ortam şartlarına (güneş ışığı gibi) maruz kalma sonucu malzemede meydana gelen fiziksel değişim “parçalanma” olarak nitelendirilir. Malzemede parçalanma genellikle; renkte bozulma, şişkinlik, fiziksel güç kaybı veya bozulma şeklinde kendini göstermektedir. Sızıntı, koruyucu giysi materyalindeki hata, dikiş veya fermuar boyunca gerçekleşen kimyasal madde hareketi olarak tanımlanabilir. Koruyucu malzemede, bu özelliğin mümkün mertebe sıvı geçişine izin vermeyecek biçimde olması istenir. Koruyucu giysilerden kimyasal maddelere ve diğer etmenlere karşı mümkün olduğunda yüksek direnç göstermeleri beklenmektedir. Ancak, hiçbir materyal tüm kimyasallara ve

kimyasal bileşenlere karşı uzun süre tam koruma sağlayamaz ve günümüzde mevcut hiçbir materyal uzun süreli kimyasala maruz kaldığında etkili bir bariyer görevi sağlayamamaktadır [37].

1.2.2.2.3. Fiziksel Özellikler

Kimyasal direnç gibi, fiziksel tehlikelere karşı direnç ve aşırı çevre koşullarında, koruyucu giysiler çalışma açısından ve fiziksel nitelikler bakımından geniş spektruma yayılmalıdır. Koruyucu giysi üretiminde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri kullanıcılar açısından aşağıdaki özellikler ışığında değerlendirilebilir ve bu talepler karşılandığı ölçüde, koruyucu giysinin fiziksel açıdan dayanıklı olduğu söylenebilir [37]:

- Sürtünmeye, kesime, yırtılmaya ve patlamaya karşı dirençli olma,
- Kirlenme ve temizlik sonrası tekrarlı kullanıma imkân sağlama,
- Gerekli görevi gerçekleştirebilecek düzeyde esneklik veya bükülgenlik,
- Aşırı sıcak ve soğuk altında koruyucu entegrasyonunu ve esnekliğini sağlama,
- Güç tutuşur veya kendiliğinden sönebilme özelliği.

Koruyucu giysi seçimini etkileyen faktörler göz önüne alındığında, literatürde bu faktörlerin koruyucu giysi üretiminde etkinliğini araştıran çalışmalar olduğu görülmüştür.

Aktif çalışma hayatı için yeni koruyucu donanımlar üzerine yürütülen bir çalışmada, Faraday kafesi oluşturularak, güçlü elektriksel alanda meydana gelebilecek tehlikeli elektrik akımından ve kaçaklardan işçilerin korunması amaçlanmıştır. Tasarlanan koruyucu giysi, eldiven ve çoraplar üç katmanlıdır. Giysinin dış katmanında, alev geciktirici ve yırtılma mukavemeti yüksek bir kumaş kullanılmıştır. Orta katmanda kullanılan polyamid kumaş, kalıcı metalize bakır ve/veya gümüş ile bitim işlemine tabi tutulmuş, bu da elektriksel alana karşı mükemmel bir kalkanlama etkisi göstermesini sağlamıştır. Vücutla temas halinde olan iç katmanda ise beden sıvılarını kolayca emsin diye pamuklu örme kumaş kullanılmıştır [36].

Adams [47], koruyucu giysilerinin işçi performansı üzerindeki etkilerinin anlaşılması üzerine yürüttüğü bir çalışmada, iskelet bir yapı sunmayı ve kumaş özelliklerine dayanan bu etkilerin tahminlenmesine öncülük edebilecek kavramsal bir model

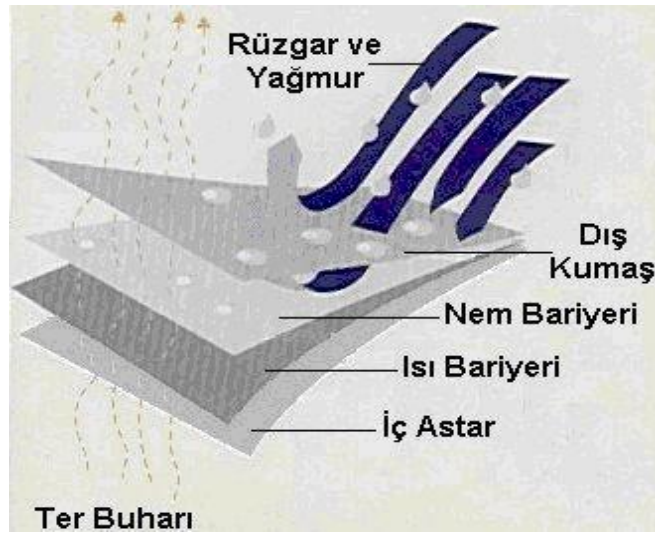
önermeyi amaçlamıştır. Gerçekleştirdiği bu çalışmada; koruyucu giysinin işçi performansı üzerindeki olumsuz etkilerinin anlaşılması için bağlantısal bir model sunmuştur. Model, koruyucu giysinin sıcaklık baskısı ile ilişkisini analiz eden Nunneley' in [48] çalışmasını temel almıştır. Ardından işçilerdeki giysiden kaynaklanan engellemelerinin belirlenmesi hususunda, ileriki araştırmaların kurulması için iskelet bir yapı oluşturulmuştur. Daha sonra, ölçülebilen giysi parametreleri esaslı Giysi Engelleme İndeksi (*GII*) olarak adlandırılan algısal bir model tasarlanmış ve bu modeli geliştirmek için farklı yaklaşımlar sunulmuştur [47].

Shishoo [46], koruyucu giysilerde kullanılan materyallerdeki güncel gelişmeler üzerine yaptığı araştırmada, koruyucu giysi uygulamaları için yüksek fonksiyonellik ve yüksek performans açısından liflerdeki yenilikleri öne çıkarmıştır. Bunlara sıcaklık ve alevden koruma sağlayan lifleri de dâhil ederek, akıllı tekstil materyallerinin üretimindeki insan/çevre koşulları etkileşiminin uygulanabilirliğine ilişkin farklı trendler sunmuştur [46].

Kutlu ve Cireli [49], termal koruyucu giysilerin termal analizi ve performans özelliklerinin tespiti amacıyla, tek katlı kumaşlar ve bu kumaşlardan bir araya getirilme iki ve üç katlı yapılar üzerinde çalışmışlardır. Bu yapıların ve her bir dış katman kumaşının termal koruyuculuk performans (*TPP*) oranları değerlendirilmiştir. Kalınlık ve gramaj faktörlerinin tek katlı kumaşların *TPP* oranlarını etkilediği ön plana çıkmıştır. Kumaşların *TPP* oranları, hava geçirgenlikleri, gramajları ve yırtılma dirençleri, yıkama öncesi ve sonrası ölçülmüşken, yıkama sonrası boyutsal değişimlerde kayıt altına alınmıştır. En yüksek derecede *TPP* oranı üç katmanlı (dış kat + termal bariyer + iç katman) yapıda elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kumaşlarda çekme, hava geçirgenliği değerleri ve yırtılma mukavemetleri düşüş göstermişken, yıkama döngüsü sayısındaki artış ile birlikte kumaş gramajının arttığı ortaya çıkmıştır. Yıkama tek katlı kumaşların *TPP* oranının düşmesine, çok katmanlı yapıların *TPP* oranının ise artmasına sebep olmuştur [49]. Bu faktörlerin yanı sıra, yüksek sıcaklığa ve aleve karşı koruyucu giysi olarak tasarlanan itfaiyeci giysilerinde mutlak anlamda bulunması gereken tasarım özellikleri ise şunlardır [50, 51]:

- *Aleve karşı dayanıklılık:* Yanmayı geciktirici etki göstermeli, devamlılığına engel olarak tehlikeyi ortadan kaldırmalıdır.

- *Bütünlük:* Çekme, erime, büzüşme veya gevrek kömür oluşturma gibi deformasyonlara uğramamalıdır.
- *İzolasyon:* Giysi, yanma boyunca katran ya da iletken çözeltileri üzerinden atmalı ve kişinin yangın ortamından kendisini kaçıp kurtarmasına yetecek süre zarfında ısı transferini geciktirici ekti göstermelidir.
- *Sıvı iticilik:* Kimyasal ve zararlı sıvıların (yağ, çözücü, su ve diğer tehlikeli sıvılar) vücuda nüfuziyetini engelleyici yapıda olmalıdır.



Şekil 1.13. Koruyucu itfaiyeci giysisinin sahip olması gereken tabakalı yapı ve tabakaların fonksiyonları [39].

1.2.3. Koruyucu İtfaiyeci Giysisi Standartları

Kişisel koruyucu donanımı (*PPE*) çalışanları ciddi işyeri yaralanmalarından veya mekaniksel, elektriksel, fiziksel, radyolojik ve kimyasal temasla sonucu oluşan hastalıklara karşı koruma amaçlı tasarlanmaktadır. Dolayısıyla, koruyucu itfaiyeci giysilerinin de dâhil olduğu bu donanımların sahip olması gereken performans gereksinimlerine, test yöntemlerine, yapılan testlerde kalite yönetimi için gereksinimlere, üretimine ve sertifikasyonuna ilişkin çok sayıda uluslararası ve Avrupa standartları mevcuttur. Bunlardan en önemlileri:

- EN 531 – Isı ve aleve karşı koruyucu giysi standardı,
- EN 340 – Koruyucu giysiler için genel gereksinimler,

- EN 510 – Mekanik etkilere karşı koruyucu giysi standardı,
- EN 469 – Koruyucu itfaiye giysisi standartı,
- EN 342 – Soğuğa karşı koruyucu giysi standardı,
- EN 343 – Soğuğa rüzgâra ve neme karşı koruyucu giysi standardı,
- EN 1073 – Radyoaktif içeriğe sahip maddelere karşı koruyucu giysi standardı,
- EN 1149 – Statik elektriklenmeye karşı koruyucu giysi standardı,
- EN 465, EN 466, EN 467 – Kimyasal tehlikele karşı koruyucu giysi standartları,
- EN 659 – İtfaiyeciler için koruyucu giysi standardı,
- ISO 2801:1998 Isı ve aleve karşı koruma için giysiler – giysi kumaşı seçimi için genel tavsiyeler, koruyucu giysi kullanımı ve bakımı,
- ISO 6529:2001 Koruyucu giysiler – kimyasallara karşı koruma – koruyucu giysi materyalinin sıvı ve gazlar geçirgenliğine karşı direncinin tespiti,
- ISO 6942: 2002 Koruyucu giysiler – yangın ve ısıya karşı koruma – test yöntemi: Çevresel ısı kaynağına maruz kalan malzeme ve malzeme topluluğunun değerlendirilmesi,
- ISO 9151:1995 Isı ve aleve karşı koruyucu giysiler – alev maruziyeti sonucu ısı geçişinin tespiti,
- ISO 11612:1998 Isı ve aleve karşı koruma için giysiler – ısı koruyucu giysiler için performans gereksinimleri ve test yöntemleri,
- ISO 13688:1998 Koruyucu giysiler – genel gereksinimler,
- ISO 13994:1998 Sıvı kimyasallara karşı koruyucu giysiler – basınç altında sıvı penetrasyonuna karşı koruyucu giysi malzemesinin dayanımının tespiti,
- ISO 13995:2000 Koruyucu giysiler – mekanik özellikler – malzemenin dinamik yırtılma ve patlama dayanımının tespiti için test yöntemleri,
- ISO 13996:1999 Koruyucu giysiler – mekanik özellikler – patlama dayanımının tespiti,
- ISO 13997:1999 Koruyucu giysiler – mekanik özellikler – kesilmeye karşı direncin tespiti,
- ISO 15025:2000 Koruyucu giysiler – ısıya ve aleve karşı koruma – sınırlanmış alev yayılımı için test yöntemi,

- ISO 16603:2004 Vücut sıvısı veya kanla temasa karşı koruma için giysiler – kan veya vucüt sıvısı penetrasyonuna karşı koruyucu giysi malzemesinin dayanımının tespiti – sentetik kan kullanılan test yöntemi,
- ISO 17491:2002 Koruyucu giysiler – gaz ve sıvı kimyasallara karşı koruma – gaz ve sıvı penetrasyonuna karşı koruyucu giysi malzemesinin dayanımının tespiti,
- ISO 17492:2003 Isı ve alev karşı koruma için giysiler – hem alev, hem de çevresel ısı maruziyeti sonucu ısı geçişinin tespiti,
- ISO 17493:2000 Isıya karşı koruma için giysi ve donanımlar – sıcak hava sirkülasyonlu fırın kullanarak konvektif ısı direnci için test yöntemi,
- ISO 22608:2004 Koruyucu giysiler – sıvı kimyasallara karşı koruma – tutuculuk ve iticilik ölçümü ve koruyucu giysi materyalleri boyunca sıvı böcek zehiri penetrasyonunun çözüm yolları.

Avrupa standardı EN 340, koruyucu giysi ergonomisi, bedeni, tasarımı, kullanım ömrü, bütünlüğü için genel performans gereksinimleri ve test yöntemleri hakkında koruyucu giysi üreticilerini bilgilendirmektedir. Birçok koruyucu giysi tipiyle ilişkili; temel sağlık ve ergonomik gereksinimler yine bu standartta içinde yer almaktadır. Ayrıca, Kuzey Amerika’ da çalışmaları US Department of Labor tarafından yürütülen Mesleki Güvenlik ve Sağlık Standartları (*OSHA*), çalışma esnasında işçiler için gerekli; tehlikelere karşı yaralanma riskini en aza indirecek koruma önlemlerini ve minimum gereksinimleri içermektedir.

Önceleri ülkelerin sadece kendi gereksinimleri mevcutken, 1980’ li yıllarla birlikte koruyucu itfaiyeci giysisi standardına ilişkin ilk çalışma ISO/TC94/SC13/WG2 ile başlamıştır. Günümüzde, koruyucu itfaiyeci giysilerini ilgilendiren test yöntemleri ve performans gereksinimlerini sunan ISO 11613:1999 standardı ve özel kullanım amacına yönelik; ISO 15538:2001 standardı gibi yapısal itfaiyecilik standartları mevcuttur. Ayrıca, yapısal itfaiyecilik için Avrupa standartları (EN 469:1995), özel kullanım amacına yönelik itfaiyecilik standardı (EN 1496: 1997) gibi koruyucu itfaiye giysisi üzerine Avrupa standartları da kullanılmaktadır. Bu uluslararası standartlara ek olarak; Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada da NFPA (Ulusal Yangın Koruma Birliği) standartını kullanmaktadır. NFPA 1971 (2000) yapısal itfaiyecilik boyunca elverişsiz çevre koşullarının etkilerine karşı itfaiyecileri korumak için tasarlanmış koruyucu

giysiye uygulanacak test yöntemleri, performans kriterleri ve minimum tasarımı kapsamaktadır. ISO 6942, DIS 9151 ve DIS 12127 standartları çevresel, konvektif ve konktat ısıya karşı kumaşların termal koruyuculuk davranışı testine yönelik yöntemleri sunmaktadır. Bu üç yöntemde de benzer cihazlar kullanılmaktadır.

Üç test için de ölçüm prensibi temel olarak: ısı kaynağına maruz bırakılan giysi numunesi ve numune boyunca ısı akışını kaydeden ve numunenin arkasında konuşlanmış bir kalorimetreden ibarettir [52].

ISO 6942 (çevresel ısı) standardına göre; sıcaklık artışı kalorimetreyle ölçülür, kaydedilir ve eğrileri çizdirilir. Cildin termal direncini tarif eden eğriler (acı zamanı eğri ve ikinci derece yanık eğrisi) ve bunlar arasındaki kesişmeler de çizdirilmektedir. Isı akışı 5 ve 80 kW/m² aralığında değişmektedir [53].

ISO/DIS 9151 (konvektif ısı, alev) standardına göre; 12 ve 24°C sıcaklık artış süresi (HTI_{12} ve HTI_{24}) değerlendirilmektedir. Isı akışı sürekli 80 kW/m² de tutulmaktadır. 12 ve 24°C sıcaklık artış süreleri bu sıcaklık akışı için acı süresi ve ikinci derece yanık süresini yaklaşık olarak haber etmektedir [54].

ISO/DIS 12127 (kontakt ısı) standardına göre; 100 ve 500°C kontakt sıcaklık aralığında, eşik süresi, yani kalorimetrede 10°C' lik sıcaklık artışı için geçen süre değerlendirilmektedir [55].

Yukarıda bahsedilen bu standartların temel amacı, koruyuculuk performansı ve giysi dayanımı için minimum gereksinimleri sağlamaktır. Farklı formlardaki ısı ve alev, itfaiyeciler için en önemli tehlikelerdir. Dolayısıyla, itfaiyeci giysileri için birincil hedef bu tehlikeleri mümkün olduğunca hızlı bir şekilde savuşturmaktır. Bu yüzden, “güç tutuşurluk” veya bir başka deyişle “ alev geciktirici” özellik, ilk hedefi yüksek ısı ve alevden koruma olan itfaiye giysileri için büyük önem arz etmektedir. Tekstilde termal koruyuculuk özelliği ve yüksek ısı ve alevden koruyan tekstil ürünleri hakkında ayrıntılı bilgi aşağıda verilmiştir.

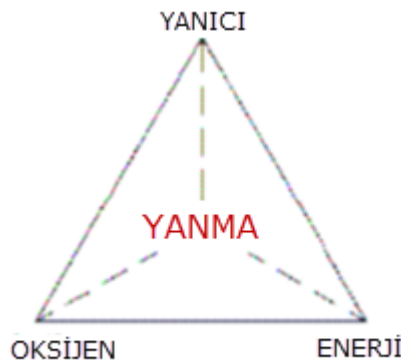
1.3. Tekstilde Termal Koruyuculuk

Tekstil ürünlerinin büyük çoğunluğunun organik esaslı olması, bu durumun beraberinde getirdiği yanıcılık özelliğinin de yüksek olmasından dolayı, yaşamımızın birçok alanında geniş kapsamlı kullanılan bu ürünlerden kaynaklanacak yangın riskini de

karışımı açığa çıkmamakta, sıcaklık seviyesinin yükselmesiyle birlikte piroliz hızındaki artış yanıcı gaz karışımı meydana getirmekte ve bu raddeden sonra dışarıdan maruz kalınacak bir kıvılcımda materyal kendiliğinden tutuşabilmektedir [60].

Piroliz reaksiyonu oluşan ürünler ise şu şekildedir [61]:

- **Yanıcı gazlar;** tutuşmaya sebep olur.
- **Yanmayan gazlar;** ateşin soğumasına yardımcı olmakla birlikte, özellikle ağır yanma gazlarının yanan yüzeyin etrafını sararak oksijen ile temasını azaltmaktadır.
- **Yanmayan sıvı parçalanma ürünleri;** bu tür parçalanma ürünlerinin buharlaşma ısısı sıcaklığın düşmesine yardımcı olur.
- **Katı kömürleşme artıkları;** yanıcı gazların dışarıya difüzyonunu azaltırken, aynı zamanda ısı yalıtkanlık sağlayarak pirolizi yavaşlatır [61].



Şekil 1.14. Yanma üçgeni [62].

Yanma reaksiyonunun meydana gelebilmesi için gerekli 3 bileşen (yanıcı-oksijen-ısı enerjisi) Şekil 1.14’ de gösterildiği üzere “yanma üçgeni” olarak adlandırılır.

1.3.1.2. Yangın ve Bileşenleri

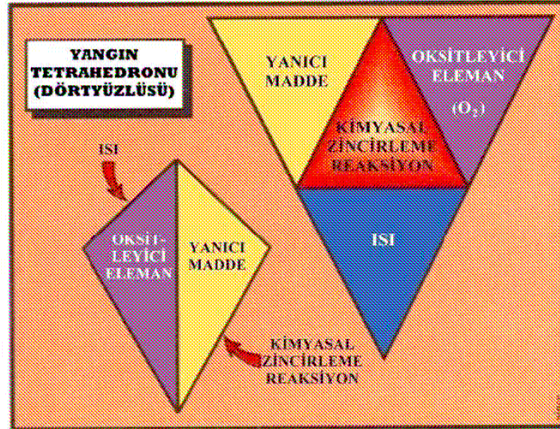
Yangın; farklı fiziksel hallerdeki yanıcı maddelerin, kontrol ve istem dışı meydana gelmesiyle oluşan yanma reaksiyonlarıdır [60, 62].

Yangının dört bileşeni mevcuttur [62]:

1. Yanıcı madde
2. Oksijen
3. Yanıcı maddeyi tutuşma sıcaklığına kadar ısıtacak olan ısı kaynağı

4. Bu üç bileşenin bir araya gelmesiyle oluşan oksidasyon başladıktan sonra meydana gelen zincirleme reaksiyon

Bu dört bileşen bütününe; Şekil 1.15’ de gösterildiği gibi “yangın tetrahedronu (dört yüz lüsü)” denir [60].



Şekil 1.15. Yangın tetrahedronu (dört yüz lüsü) [60].

1.3.2. Tekstil Materyallerinin Yanma Davranışı

Tekstil ürünlerinin temel yapı taşı lif olduğundan, her şeyden önce liflerin yanma mekanizmasını iyi bilmek gerekir. Tekstil liflerinin yanma olayı gerçekleşmeden önce kendilerine uygulanan ısı enerjisine karşı iki şekilde tepki gösterirler. Lifler fiziksel açıdan farklı tepkiler göstermeleriyle, bu özellikleri açısından termoplastik ve non-termoplastik (termoset) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Termoplastik lifler sıcaklığın etkisiyle şekil değişimine uğrarlarken, non-termoplastik (termoset) liflerde ise şekil değişimi gözlenmez. Termoplastik lifler sırasıyla, belli bir sıcaklık değerinde önce yumuşama, daha sonra yüksek sıcaklıklara ulaşıldığında erime ve ardından yüksek derecede belli bir sıcaklığa eriştikleri vakit bozunma ve yanma gösterirler. Yumuşamaya ve ardından belli bir sıcaklıkta erimeye başladıklarından, yüksek sıcaklıktaki bu eriyiğin geniş alanlara yayılarak yangın oluşturma riski mevcuttur. Termoset (non-termoplastik) liflerde yumuşama ve erime gerçekleşmez, yani bu lifler maruz kaldıkları yüksek sıcaklık değerlerinde yanmanın gerçekleştiği ana kadar şekil değişimi göstermezler. Bütün doğal ve rejenere lifler bu gruba aittir [63]. Tekstil liflerinin termal özelliklerinin yanma davranışı öncesi çok iyi bilinmesi gereklidir. Liflerin ısıya karşı gösterdikleri termal özelliklere bakılacak olunursa:

- a) **Camsı geçiş sıcaklığı (T_g)** : Polimerik malzemelerin temel ayırt edici özelliklerinden birisi olmakla birlikte, termoplastik liflerin yumuşamaya başladığı, yani camsı özelliklerini kaybedip viskoz özellikler kazanmaya başladığı sıcaklık sınırıdır. Erime sıcaklığından her zaman daha düşüktür. Isıtılmaya başlanmasından itibaren malzemeye uygulanan sıcaklıktaki artış, materyalin moleküler zincirini oluşturan ve giderek enerjisi büyüyen ögelerin hareketini hızlandırmakta, böylece moleküler zincirleri bir arada tutan bağları zayıflatarak, zincirleri birbirlerine göre daha kararsız hale getirmeye başlamaktadır. Maruz kalınan sıcaklıktaki azalış ise, bu ögelerin dönme hareketini yavaşlatmakta ve belirli bir sıcaklık değerinde durdurmaktadır. Bu sırada atomların sadece kendi pozisyonları etrafındaki titreşim hareketi mevcuttur. Malzemenin yapısının rijitliğini koruduğu ve özgül hacmin artış gösterdiği bu sıcaklık değeri, camsı hale geçiş (camlaşma) sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır [59, 63]. Polimerler T_g ' lerinin altındaki sıcaklıklarda daha rijit iken, T_g ' lerinin üstündeki sıcaklıklarda daha yumuşak ve esnektirler. Camsı geçiş sıcaklığını etkileyen faktörler; dallanma ve çapraz bağdır. Çapraz bağ varsa bağ dönmesi zorlaşır ve T_g artar. Molekül zincirinde dallanma varsa hacim artar, yoğunluk ve T_g azalır.
- b) **Erime sıcaklığı (T_m)** : Malzemede erimenin gözlenmeye başladığı sıcaklıktır. Materyal ısınmaya devam ederse, molekül zincirini oluşturan birimlerin hızı artarak molekül zincirleri yavaş yavaş bütünüyle kararsız duruma geçmeye başlar. Yani eriyerek sıvı hale gelmeye başlar [59, 63].
- c) **Piroliz sıcaklığı (T_p)** : Malzemenin makromoleküler yapısının termik parçalanmaya uğradığı andaki sıcaklıktır [59].
- d) **Yanma sıcaklığı (T_c)** : Termal parçalanma sonucu açığa çıkan yanıcı gazların oksitlendiği ve yanmanın meydana geldiği sıcaklıktır [59].
- e) **Kritik piroliz sıcaklığı (T_{pc})** : Malzeme bu sıcaklığa ulaştığında, artmakta olan piroliz hızının beraberinde, oluşan yanıcı gaz karışımı konsantrasyonu da artacağından, malzeme dışarıdan bir kıvılcıma maruz kalırsa hemen tutuşur [59].
- f) **Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı (T_{si})** : Malzemeye uygulanan ısıtma işlemine devam edilecek olursa, malzeme bu sıcaklığa ulaşıldığında; dışarıdan herhangi bir alev kaynağına gerek duymaksızın piroliz sonrası açığa çıkan yanıcı gaz

karışımı çevredeki mevcut oksijen konsantrasyonu ile reaksiyon verecek ve kendiliğinden tutuşacaktır [59].

- g) **Yanma entalpisi (ΔH)** : Yanma esnasında açığa çıkan ısıyı tanımlayan, aynı sıcaklık ve basınç değeri şartları altında materyal ile reaktan entalpilerinin arasındaki farktır [59].
- h) **Entalpi (hf)** : 25°C ve 1 atm basınç ortam şartlarında bileşiği meydana getiren elementlerin açığa çıkardığı/absorpladığı ısı miktarıdır [59].
- i) **Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI)** : Bir materyalin yanmaya devam edebilmesi için gerekli % oksijen miktarı demektir. Bu değer %25' in altında ise malzemenin yanması kolay gerçekleşecek olup, %25' in üstündeki değerlerde ise yüksek sıcaklığa maruz kalan materyal havada kendiliğinden sönecektir [59].

Bazı liflerin sahip olduğu ilgili termal özellikler ile yanma özellikleri Tablo 1.1 ve Tablo 1.2' de gösterildiği gibidir.

Tablo 1.1. Bazı liflerin termal özellikleri [64, 65].

Elyaf	Termo plastiklik	Camlaşma sıcaklığı T_g (°C)	Erime sıcaklığı T_m (°C)	Piroliz sıcaklığı T_p (°C)	Yanma sıcaklığı T_c (°C)	Yanma entalpisi ΔH (kJ/g)	Sınırlayıcı oksijen indeksi LOI (%)
Yün	Hayır	-	-	245	600	27	25
Pamuk	Hayır	-	-	350	400	19	18.4
Viskoz	Hayır	-	-	350	420	19	18.9
Triasetat	Evet	172	290	305	540	-	18.4
Nylon 6	Evet	50	215	431	450	39	20 – 21.5
Nylon 6.6	Evet	50	265	403	530	32	20 – 21.5
Polyester	Evet	80 – 90	255	420 – 477	480	24	20 – 21.5
Akrilik	Evet	100	>220	290	>250	32	18.2
Polypropilen	Evet	-20	165	469	550	44	18.6
Modakrilik	Evet	<80	>240	273	690	-	29 – 30
PVC	Evet	<80	>180	>180	450	21	37 – 39
PVDC	Evet	-17	180 – 210	>220	532	11	60
PTFE	Evet	126	>327	400	560	4	95
Nomeks	Evet	275	375	310	500	30	28.5 – 30
Kevlar	Evet	340	560	590	>550	-	29
PBI	Evet	>400		>500	>500	-	40 – 42
Meta-aramid	Evet	275	375	310	500	-	28.5 – 30
Para-aramid	Evet	340	560	590	>500	-	29

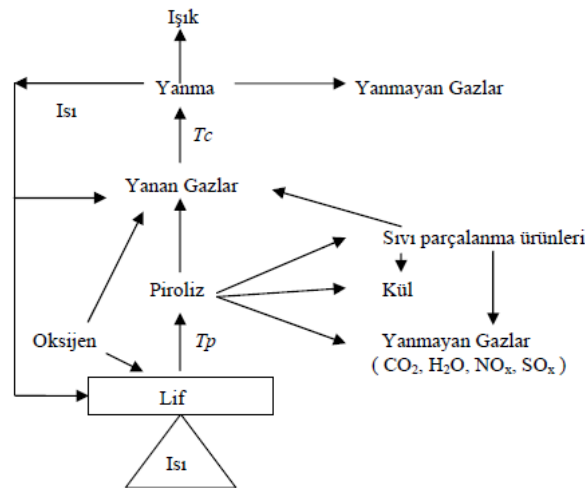
Tekstil ürünleri farklı kimyasal özelliklere sahip liflerden örme, dokuma ve birçok farklı tipte dokusuz yüzeyler gibi farklı fiziksel yapılardan meydana gelmekte ve oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler. Bundan dolayı, tekstil ürünlerinin alev alma özellikleri, oldukça yanıcı selülozik ve yaygın sentetik liflerden üretilme yapılardan, kendiliğinden güç tutuşur tekstil yapılarına kadar çarpıcı biçimde değişmektedir.

Tablo 1.2. Bazı liflerin yanma özellikleri [66].

Lif	Tutuşma Kolaylığı	Yanma Hızı	Kendi Kendini Söndürme	Erime	Duman Yoğunluğu	Yanma Sırasında Ortaya Çıkan Zehirli Ürünler		
						CO	HCN	Diğer
Pamuk	Kolay	Hızlı	Hayır	Hayır	Hafif	X	-	-
Yün	Geç	Yavaş	Genellikle	Hayır	Orta	X	X	-
Rayon	Kolay	Hızlı	Hayır	Hayır	Hafif	X	-	-
Nylon	Kolay	Yavaş	Hayır	Evet	Hafif	X	X	NO ₂
Polyester	Kolay	Yavaş	Hayır	Evet	Orta	X	-	-
Polypropilen	Kolay	Hızlı	Evet	Evet	Hafif	-	-	-
Akrilik	Kolay	Orta	Hayır	Yumuşama	Ağır	X	X	-
Aramid	Zor	Çok yavaş	Evet	Yumuşama	Hafif	X	-	-
Polyamid	Zor	Çok yavaş	Evet	Evet	Hafif	-	-	-
PBI	Zor	Çok yavaş	Evet	Hayır	Hafif	-	-	-

Alevlerin yayılması selülozik, yaygın sentetik ve karışım kumaşlarda tutuşmadan sonra hızla gerçekleşmekte ve büyük ölçüde kumaş yüzey yoğunluğuna bağlı olmaktadır. Düşük gramaja sahip kumaşlarda yayılma hızı daha yüksekken; bununla birlikte, yüzeyi tüylü yapılarda kolayca tutuşma ve hızlı alev yayılımından dolayı daha yüksek yangın tehlikesi ön plana çıkmaktadır [67].

Tekstil ürünlerinin yanması sırasıyla; ısınma, piroliz, tutuşma ve alevin yayılmasıyla dört adımda gerçekleşen kompleks bir olaydır (Şekil 1.16) [68].



Şekil 1.16. Tekstil materyali için yanma döngüsü [58].

Isıya maruz kalan liflerde sıcaklıktaki artış sonrası piroliz sıcaklığına (T_p) ulaşıldığında, liflerin makromoleküler yapısı ayrışmaya başlar. Bu esnada, lifte herhangi bir ağırlık kaybı yoktur. Belirli bir sıcaklık değerinden sonra, pirolizin yavaş bir seyir izlemesinden dolayı henüz yanıcı gazlar meydana gelmemektedir. Ancak, daha sonra piroliz hızındaki artışla birlikte yanıcı gaz karışımı (karbonmonoksit, hidrojen ve pek

çok okside olabilen organik moleküller), yanıcı olmayan gazlar (karbondioksit, su buharı, azot ve kükürt oksit gibi), sıvı parçalanma ürünleri ve katı kömürleşme artıkları gibi piroliz sonucu ürünler oluşur. Sıcaklık artışı devam ettikçe, açığa çıkan sıvı parçalanma ürünleri de yanıcı, yanıcı olamayan gaz ve kül meydana getirerek parçalanır. Sıcaklıkta daha üst değerlere çıkılıp, yanma sıcaklığına (T_c) ulaşıldığında ise, yanıcı gaz ile oksijeninin reaksiyonu sonucu oluşan yanma işlemi gerçekleşmektedir [58, 66].

Açığa çıkan yanıcı gazlar dışında meydana gelen diğer tüm ürünlerin fazlalığı tutuşmayı ve yanmayı zorlaştıran etmenlerdir. Çünkü yanmayan gazlar malzeme yüzeyini çevreleyerek oksijenle olan temasını azaltırken, aynı zamanda sistemdeki enerjiyi tükettiklerinden dolayı ateşin soğumasına yardımcı olurlar. Bununla birlikte oluşan sıvı parçalanma ürünlerinin de sahip olduğu buharlaşma ısısı sıcaklığın düşmesinde etkin rol oynar [66]. Ayrıca meydana gelen ürünler arasındaki katı kömürleşme artıkları (birincil ve ikincil küller) yanıcı gazların dış ortama difüzyonunu azaltıcı etki oluşturup ısı yalıtkanlık sağlayarak pirolizi yavaşlatacaktır [61].

Liflerin ve kumaşın kimyasal, fiziksel ve çevresel modifikasyonlarının pirolizik bozunmaya doğrudan etkisi mevcuttur. Bununla birlikte, liflerdeki kimyasal bileşim ve polimerizasyon derecesi de bu bozunmayı önemli ölçüde etkiler. Ayrıca, kumaş konstrüksiyonu, gramajı ve yüzey yapısının da yanıcılık üzerindeki etkisi yadsınamaz, fakat bu etki diğerlerine nazaran daha düşük seviyededir [65].

Tekstil ürünlerinin yanıcılığını etkileyen başlıca faktörler sıralanacak olursa:

1. *Lif tipi*: Farklı kimyasal yapıdaki lifler yüksek sıcaklık veya aleve maruz bırakıldıklarında farklı davranışlar sergileyeceklerdir. Yanma özellikleri bakımından lifler:

- i. Yanmaya hazır olan lifler (pamuk, sap elyaflar (keten vb.), rejenere selüloz lifleri ve PAN)
- ii. Düşük yanıcılığı olan lifler (yün, ipek, polyester ve poliamid)
- iii. Yanıcılığı olmayan lifler (cam, mineral ve asbest gibi) olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

2. *Kumaş yapısı*: Kumaş konstrüksiyonu (kalınlığı, yüzeysel ağırlığı, örgü tipi vs.), kumaşın termal iletkenliğini doğrudan etkilediğinden, kumaştan dışarı veya dışarıdan

kumaş içerisine gerçekleşecek olan ısı transferinin büyüklüğünü belirleyecektir. Kumaş kalınlığındaki değişim doğru orantılı bir biçimde termal direnci de etkileyecektir.

3. Oksijen konsantrasyonu: Bu faktör tekstil ürünün yanıcılık özelliğini önemli ölçüde arttıran, ancak materyalin oksijene karşı ne ölçüde hassasiyet gösterdiğinin tahmin edilemediği yanmayı doğrudan etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Ortamdaki oksijen konsantrasyonu arttıkça malzemenin yanıcılığı da o oranda artacaktır. Bu nedenle birçok araştırmacı kumaşın yanıcılık özelliğini; bir materyalin yanmaya devam edebilmesi için gerekli % oksijen miktarı olan sınırlayıcı oksijen indeksi (*LOI*) esas alan yöntemler üzerinde çalışmışlardır [59].

Ayrıca tüm bu temel faktörlerin yanı sıra, ısı kaynağının yapısı ve bu kaynaktan oluşan ısı akımının kumaşa temas süresi, kumaş oryantasyonu, tutuşmanın gerçekleşeceği bölge (kumaşın kenarı, yüzü, altı veya üstü), çevre sıcaklığı, bağıl nem, ortamdaki havanın akış hızı gibi faktörler de kumaşın yanıcılığını etkilemektedir [69].

1.3.3. Yüksek Isı ve Alevden Koruyucu Tekstiller

Yüksek ısı ve alevden koruyan tekstil ürünlerinin çeşitli üretim tekniklerinin olmasının yanı sıra, oldukça geniş kullanım alanına da sahiptirler. Yüksek ısı korumaya sahip itfaiyeci giysileri, dökümhane, kaynak ve kesim işlemleri gibi ağır sanayi dallarında çalışan ve yüksek sıcaklığa maruz kalan işçilerin kullandığı giysiler vb. bu kullanım alanına dâhildir. Genelde alüminize edilmiş kumaşlardan üretilen bu giysiler yüksek ısıya ve aleve karşı bu alanlarda çalışan insanları korumaya yardımcı olmaktadır. Bu tip giysiler aşırı ısıya, buhar basıncına ve metal eriyiğine karşı oldukça dayanıklıdır [70].

Alev ve ısıya karşı korunulması gereken tehlike arz eden iş alanları ve bunların beraberinde getirdikleri tehlike boyutu Tablo 1.3’ de belirtilmiştir.

Yüksek ısı ve alevden koruyucu tekstiller denildiğinde, materyallerin göstermiş oldukları “alev geciktiricilik” veya bir başka deyişle “güç tutuşurluk” özellikleri akla gelmektedir.

Güç tutuşurluk, yüksek derecede sıcaklıklara ya da aleve maruz kalan malzemede tutuşmanın meydana gelmemesi, bunun gerçekleşmesi durumunda dahi kendi kendine sönebilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir.

Güç tutuşurluk, bir başka deyişle alev geciktiricilik özelliği, İngilizce’ de “*Flame Retardancy*” olarak geçmekte ve kısaca *FR* şeklinde sembolize edilmektedir [57].

Tablo 1.3. Alev ve ısıya karşı korunulması gereken ve tehlike arz eden iş alanları [65].

İş Kolu	Maruz Kalınan Isıl Tehlike		
	Alev	Sıcak Temas	Radyan Isı
Dökümhane (çelik ve cam üretimi, metal dökümü, demir dövme)	*	**	**
Mühendislik (kaynak, kesim işlemleri)	*	**	*
Yağ, gaz ve kimyasallar	*	-	-
Havacılık ve uzay	*	-	-
Askeriye	**	*	*
İtfaiyeciler	**	*	*

**Ciddi zarar, *İkincil zarar – az zarar ya da zarar yok

1.3.4. Tekstil Malzemelerine Alev Geciktirici Özellik Kazandırılması

Yanma olayı, belirli bir sıcaklık değerine ulaşıldığında; yanıcı gazların ortamdaki oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu başlar. Yanmanın devam edebilmesi için, yüzeyin ısınması için gerekli olan yeterli enerji miktarına ihtiyaç vardır. Mevcut durumdaki enerji miktarı, tutuşmanın ilk anındaki piroliz ürünlerinin etrafındaki lifleri parçalamaya ve bunun sonucunda açığa çıkacak olan yanma ürünlerini tutuşturmayı sürdürecektir şekilde olmalıdır ki yanma işlemi devam etsin [66].

Tablo 1.4. Tekstil materyalinin yanması sırasındaki enerji dağılımı [66].

Basamak	Olay	Yaklaşık değer (Cal/g)
1	Erime noktasına kadar ısıtma	70
2	Erime ısısı	30
3	Parçalanma sıcaklığına kadar ısıtma	50
4	Parçalanma reaksiyonu	600
5	Piroliz ürünlerinin buharlaşması	150
6	Buharların tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılması	20
7	Çevreye yayılan ısı kaybı	1000 – 3000
8	Yanma sırasında açığa çıkan ısı	2000 – 4000

Tekstil materyalinin yanması esnasındaki enerji dağılımı Tablo 1.4’ te gösterildiği gibidir. Tablodan da açıkça görüleceği üzere $8 \geq 1-7$ olursa yanma oluşacağı, $8 \leq 1-7$ olursa yanmanın meydana gelemeyeceği göz önünde bulundurulursa, bir tekstil materyalini alev geciktirici hale getirmek için iki yol mevcuttur. Bunlardan ilki yanma sırasında açığa çıkan ısı miktarını daha aşağı seviyeye çekmek, ikincisi ise; harcanacak

olan enerjiyi yükseltmektir. Yani 1’den 7’ ye kadar gerçekleşecek olan olayların ısı değerleri toplamını arttırmaktır [35, 66].

1.3.4.1. Güç Tutuşurluk Sağlayan Maddelerin Kimyası

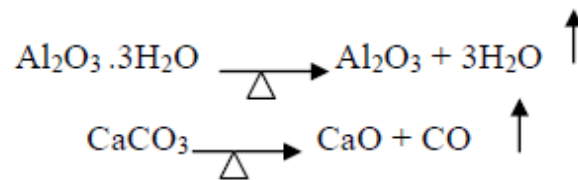
Güç tutuşur etki sağlayan ve kullanımda olan birçok kimyevi madde mevcuttur. Bunlardan en önemlileri üç gruba ayrılacak olursa:

- 1) Fosfor ve halojen bazlı temel alev geciktirici maddeler,
- 2) Sinerjitik maddeler: tek başlarına kullanıldığında düşük derecede güç tutuşur etkiye sahiptirler. Fosfor ve halojen gibi temel güç tutuşur madde gruplarıyla birlikte kullanıldıklarında ise etkinliği artmaktadır. Bunlara; halojenlerle antimon, fosforla azot kullanımını örnek olarak verilebilir.
- 3) Fiziksel etkiler vasıtasıyla aktivite sağlayan güç tutuşur maddelerdir. Bunlara örnek olarak; alüminyumtrihidrat, kalsiyum karbonat ve borat gibi kimyasal maddeler verilebilir [58, 71, 72].

1.3.4.2. Güç Tutuşurluk Sağlayan Maddelerin Etki Mekanizması

Tekstil materyalinin yanma mekanizmasının üstesinden gelebilmek amacıyla denenmiş birçok yol mevcuttur. Bunlar:

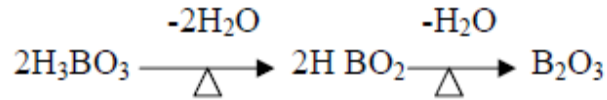
- (1) Lif yapısına kuvvetli endotermik reaksiyonlar sonucunda termal açıdan ayrışabilen maddeleri dâhil etmek bu yöntemlerden birisidir. Oluşan bu reaksiyonlar sonucunda yeterince ısı, yapı içerisine emilebilirse; tekstil materyali piroliz sıcaklığına ulaşamayarak yanma işlemi meydana gelmeyecektir. Şekil 1.17’ deki endotermik yıkım reaksiyonları bu yönetime örnek teşkil etmektedir [58].



Şekil 1.17. Endotermik yıkım reaksiyonları [58].

- (2) Bir diğer yöntem ise, piroliz sıcaklığının altındaki tekstil materyalinde, etrafını saran yalıtım katmanı oluşturmaktır. Şekil 1.18’ deki borik asit ve hidratlanmış tuzları bu yönetime örnek olarak verilebilir. Bu bileşikler ısıya maruz bırakıldıklarında, su buharı

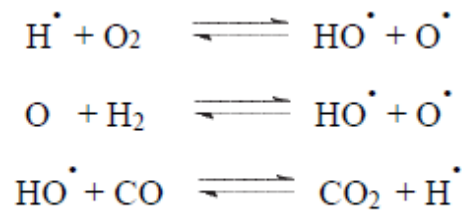
açığa çıkarak dışarıya salınmaktadır. Böylece, tekstil materyalinin yüzeyi camsı hale gelerek, yüzeyin hava ile olan temasını azaltmakta ve alev geciktirici etki kazanmaktadır [58].



Şekil 1.18. Camsı yüzey [58].

(3) Piroliz sonucu açığa çıkan ve yanıcı etkiye sahip olan uçucu madde miktarını azaltmak ve daha çok kül oluşturmak amacıyla piroliz mekanizmasını değiştirmek ise tekstil materyaline güç tutuşur özellik kazandırma yolunda uygulanabilecek bir diğer yaklaşımdır. Fosfor içeren alev geciktirici etkiye sahip maddelerin kullanılmasıyla bu yöntem gerçekleştirilebilir. Piroliz esnasında oluşan fosforik asit, hidroksil grupları ihtiva eden polimerlerle çapraz bağ yapar, böylece dışarıya salınan yanıcı ürün miktarı da azaltılmış olur [58, 72].

(4) Bu yöntemlerden biri de, güç tutuşurluk işlevinin devamlılığına katkı sağlayan serbest radikal yanma reaksiyonları oluşturmaktır. Şekil 1.19’ daki serbest radikal yanma reaksiyonu bu oluşuma örnek verilebilir. Bu reaksiyonda, piroliz esnasında oluşan OH radikallerini yakalayan halojenli bileşikler, onların hızlı biçimde oksitlenmesini sağlayarak, yanması için ihtiyaç duyduğu ısıyı azaltmaktadır [58].



Şekil 1.19. Serbest radikal yanma reaksiyonu [58].

1.3.5. Güç Tutuşurluk Test Yöntemleri

Malzemenin cinsi ve yanma davranışı, yüzey yapısı, bulunuş konumu, ısı kaynağı vb. parametrelere bağlı olarak geliştirilmiş çok sayıda test metodu güç tutuşurluk işleminin değerlendirilmesinde ve malzemenin yanma davranışının tespitinde göz önünde bulundurulmakta ve standartlarda yer almaktadır. En çok kullanılan standartlar arasına;

- Isı kaynağına göre; sigara test yöntemi (BS 5852, bölüm 1 [73]) butan gaz testi (BS 5852, bölüm 2 [73]),
- Materyalin bulunuş konumuna bağlı olarak; dikey yakma testi (test numunelerinin alev yayılma oranını ve tutuşma kolaylığını ölçmek için, numuneye 40 mm mesafe dikey uzaklıktaki ufak bir tutuşturucu alevin 10 s boyunca dikey konumlandırılmış test numunesinin alt kenarına uygulanması esasına dayanır) (BS 5438:1989 [74]), yatay yakma testi (test numunelerinin alev yayılma oranını ve tutuşma kolaylığını ölçmek için, numuneye 40 mm mesafe dikey uzaklıktaki ufak bir tutuşturucu alevin 10 s boyunca yatay konumlandırılmış test numunesinin alt kenarına uygulanması esasına dayanır) (BS EN ISO 15025: 2002 [75]), 45°' lik eğik yakma testi (DIN 54335 [76]), havlı ve havsız yer döşemeleri için dikey yakma testi (DIN 54332 [77]),
- Yanmanın kaynağına bağlı olarak yanma olayının gerçekleşmesi için ortamda bulunması gereken oksijen miktarının ölçümü için; Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI) (bir materyalin yanmaya devam edebilmesi için gerekli % oksijen miktarı demektir. Bu değer %25' in altında ise malzemenin yanması kolay gerçekleşecek olup, %25' in üstündeki değerlerde ise yüksek sıcaklığa maruz kalan materyal havada kendiliğinden sönecektir [59]) testi (ASTM D 2863-00 [78], BS 2782 – Method 141 [79]),
- Yanma sonucu oluşan toksikliğin tespiti için kullanılan; toksisite testi (ISO 5659 – 2 [80]) ve
- Materyalde sıcaklıkla oluşan kütle kaybının tespiti ve alev geciktirici materyallerin karakterizasyonu için kullanılan; TG (Termogravimetrik) (ISO 11358 – 1 [81]) analiz (kontrollü bir sıcaklık değişiminde malzemede zamanla meydana gelen kütle kaybının ölçüldüğü ve yüksek sıcaklık şartları altında alev geciktirici materyallerin karakterizasyonunda kullanılan temel bir termal yöntemdir) dâhil edilebilir.

Ayrıca bu standartlardan farklı olarak her ülkenin kendi standardında mevcut çok sayıda güç tutuşurluk testleri de vardır. Uygulanan test yöntemi fark etmeksizin genel güç tutuşurluk özelliği değerlendirmesinde; alev kaynağı uzaklaştırıldıktan sonraki yanma süresi, alevli yanma bittikten sonraki içten yanma süresi, test sonunda oluşan

kömürleşme boyu ve alanı, yanmanın ilerleme hızı, damlama olayı, gaz ya da duman çıkarma hali gibi konular mutlaka dikkate alınmalıdır [82].

Tüm bu yöntemler arasında, en yaygın kullanıma sahip iki yöntem mevcuttur. Bunlar, sınırlayıcı oksijen indeksi (*LOI*) ve dikey kumaş yakma test yöntemidir. Özellikle yüksek sıcaklığa maruz kalan malzemelerde yapının bütünlüğünün (kütleli stabilite) korunup korunmadığının, dolayısıyla malzeme de kütle kaybının oluşup, oluşmadığının tespiti için kullanılan diğer bir yaygın yöntem ise *Termogravimetrik Analiz*' dir.

1.3.6. Güç Tutuşur Kumaş Yapıları ve Özellikleri

Yüksek sıcaklıklara ve yanmaya karşı dirençli kumaşların farklı yollarla üretimi mevcuttur. Bunlardan; yapı bakımından güç tutuşur liflerin kullanılmasıyla üretilen kumaşlar en yaygın ve avantajlı olanıdır. Başta karbon lifi olmak üzere; aramid lifleri, cam lifi, asbest, polifenilensulfur (*PPS*), polibenzimidazol (*PBI*), fenolik, kyrol ve basofil lifleri gibi polimerler yapıları itibariyle yüksek sıcaklığa ve aleve karşı yüksek direnç gösteren liflerdir. Polimerlerin yüksek ısıya karşı göstereceği direnç ve mekanik özellikleri, polimer zinciri üzerinde bulunan atomlar arasındaki bağ enerjisinin büyüklüğüne bağlıdır.

Buradan hareketle, yüksek bağ enerjisine sahip polimerler zincirlerinin parçalanabilmesi için yüksek derecede ısı enerjisine ihtiyacın olduğu söylenebilir. İnorganik polimer ana zincirindeki elementlerin bağ enerjileri, organik polimer ana zincirinde bulunan elementlerin bağ enerjilerine göre çok daha yüksektir [83].

Çalışma şartları göz önüne alındığında, yüksek koruyuculuk özelliğine sahip olması gereken ve koruyucu giysi sistemleri üzerine yürütülmüş pek çok çalışmayı kapsayan bir alan olarak; itfaiyeci giysileri, acil durumlarda ve yangınlara karşı onları koruyan temel bir kişisel giysi topluluğudur. Bu şekilde, sıcaklık baskısı ve konfor özellikleri itfaiyeciler için göz önüne alınmalıyken, koruyucu itfaiye giysileri için termal koruyuculuk performansı (TPP) birincil öneme sahip olmaktadır. Ayrıca bu kıyafetlerin termal koruyuculuk performansının yanında, kullanıcı konforu açısından gerekli şekilde tasarlanması da büyük önem arz etmektedir.

Reischl et al. [84] gelişmiş ısı dağılımına sahip yeni bir prototip koruyucu itfaiye giysisinin geliştirilmesi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada, geliştirilmiş üç farklı

prototip tasarımlarının performansları, ısı tutumunu test etmek için standart giysi donanımı ile karşılaştırılmıştır. Dört gönüllü bireyden alınan biyofiziksel verilerin analizi, yenilikçi tasarım ve prototip giysinin kumaş özellikleriyle ilişkili ısı kaybı avantajlarını ortaya çıkarmıştır [84].

Day et al. [85], koruyucu itfaiye giysilerinin ısı ve ışıktaki dayanımına ilişkin yaptıkları deneyde, koruyucu giyside kullanılan kumaşları xenon arc Weather-Ometer cihazında simüle edilmiş gün ışığına tabi tutup, hava sirkülasyonu olan bir fırında ısıtarak kumaşların; renk, yırtılma mukavemeti, alev geciktiricilik ve termal koruma performansı özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Ayrıca, sıcaklıkla ilişkili; ısı çekme ve ağırlık kaybı da dikkate alınmıştır. Dış katmandaki kumaşlar Nomex® 111, Zirpro® güç tutuşur yün ve PBI/Kevlar® liflerinden üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucu; ışığa karşı hassas tüm kumaşlarda, ışık maruziyeti sonucu çekme - kopma mukavemeti değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Sıcaklığa maruz kalan kumaşlarda, nemli kaba kumaşların yırtılma mukavemetinde artış gözlemlenirken, tüm dış katman kumaşlarının yırtılma mukavemetlerinde önemli derecede azalma meydana gelmiştir. Polyamid/güç tutuşur viskoz karışımının sıcaklığa, fark edilir derecede ısı çekmeye ve yırtılma mukavemeti kaybına karşı aşırı hassasiyet gösterdiği ortaya çıkmışken, özellikle Zirpro® güç tutuşur yünün bu olaylara karşı 230°C' den daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında duyarlılık göstermeye başladığı belirlenmiştir [85].

Hirschler et al. [86], giysi yangınlarındaki kıyafetin koruyucu etkisi hakkında testler yapmışlardır. Testlerde kullanılacak cam lifi ve flasterden yapılan 32 termal çift ile donatılan bir bilgisayara bağlanarak veri akışı sağlanan yangından kaçan bir insanın hareketini simüle eden bir manken, portatif bir platform üzerinde monte edilmiştir. Manken, yanıcı bir sıvı dökülerek tutuşturulmuş ve çıkan sonuçlar kayıt altına alınmıştır [86].

Torvi ve Dale [87] koruyucu itfaiye giysi tasarımı için farklı koşullar altında önemli kumaş özelliklerinin rollerini kanıtlamak amacıyla; koruyucu giyside ısı transferinin numerik bir modelini kullanmışlardır. Kısa süre zarfında yüksek ısı akışına maruz kalan malzeme özelliklerinin etkileriyle, uzun süre zarfında düşük ısı akışına maruz bırakılan malzemedeki aynı özelliklerin etkileri karşılaştırılmıştır. Ek olarak, ısı maruziyeti sonrası giysilerde soğuma hızı üzerinde kumaş özelliklerinin önemi de araştırılmıştır. Sonuçlar, koruyucu giysi tasarımında numerik modellemeler kullanımının faydasını ve

itfaiyeci giysisinin koruma özelliğinin daha iyi anlaşılmasında bu modellerin desteklenmesini kanıtlar nitelikte çıkmıştır [87].

Rossi et al. [88], sıcaklık maruziyeti sonrası koruyucu itfaiye giysilerinin performansının tespitine yönelik araştırmalarında, farklı sıcaklık uygulamaları öncesi ve sonrası koruyucu itfaiye giysilerinde yaygın biçimde kullanılan altı farklı kumaş kombinasyonunun ısı ve mekanik koruyuculuk özelliklerini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçları göstermiştir ki: sıcaklığa tabi tutulan kumaşların ilgili özellik performansları, sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki duruma göre düşüktür. Materyallerin mekaniksel özellikleri ısı ve ısı koruyuculuk özelliklerinden daha fazla etkilenebilmektedir. Her iki durumda da, malzemede görünür bir değişiklik gözlenmeden önce, potansiyel tehlike oluşturabilecek ve kullanıcı tarafından fark edilemeyecek bozulma başlamaktadır [88].

Gniotek et al. [89], elektronik bir itfaiyeci giysisinde sıcaklık ölçümleri ve sonuçların yorumlanması hakkında, sıcaklıkların ekranlanması için bir sistem tasarlamışlardır. Sistem, giysi içerisine yerleştirilen bir takım sensorları, kablosuz bağlantıyla verilerin aktarıldığı ana bilgisayar ve algısal bir sistemi içermektedir. Oluşturulan bu sistem tekstil mühendisliği, elektronik ve bilişim gibi üç farklı bilim dalını aynı noktada buluşturmakta ve geçici problemlere ilişkin çözüm yolları sunmaktadır [89].

Zhu et al. [90], itfaiyede kullanılan alev geciktirici kumaşların testi için düze şeklinde bir cildin biyosı transfer modelini kapsayan silindirik test aparatları geliştirmeye yönelik yöntemler üzerinde çalışmışlardır. Sonuçlar, test süresince çeken kumaşların düzlemsel geometri test sistemi kullanarak yapılan kalite ölçümleriyle karşılaştırıldığında, termal koruyuculuk performansını azaltmış olabileceğini ortaya çıkarmıştır. Aynı zamanda, insan cildini simüle eden düzlemsel ve silindirik sensorlar arasındaki sıcaklık farkı sonuçları da karşılaştırılmıştır. Nihai olarak, silindirik geometrinin üstü açık deri simulanti içerisindeki ısı transferine çok düşük seviyede etkidiği sonucuna varılmıştır [90].

Jiang et al. [91], koruyucu itfaiye giysisinin termal performansı değerlendirmek amacıyla, yangın felaketlerinden kaynaklanan yaralanmaların tahminlenmesini mümkün kılan entegre bir nümerik simülatör geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu simülatörde, tek yönlü bir program insan cildi ve giysi boyunca ışınsal-iletken ısı transferini hesaplıyorken, genel amaçlı sayısal bir akışkan dinamiği programı doğal yollarla

gerçekleşen yangın olayındaki sıvı akışı ve ısı transferini hesaplamaktadır. Deneyler sonucu, tahminlenen yüzey ısı akışı ve yanık derecesinin deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu çıktığı görülmüştür [91].

1.4. Koruyucu Giysi Üretiminde ve Termal Koruyuculuk Uygulamalarında Kullanılan Lifler

Dünden bugüne lif üretiminde meydana gelen gelişmeler konvansiyonel liflerin kullanımı ile başlamış, sırasıyla yüksek fonksiyonlu lifler ve yüksek performanslı liflerin elde edilmesi aşamalarından geçmiştir. Eriyikten çekme, ıslak çekim, kuru çekim ve jelden çekim, bikomponent lif üretimi, mikrolif üretimi gibi gelişmiş yeni lif çekim teknikleri, koruyucu giyside kullanılacak daha uygun özellikler ile elyaf üretimini mümkün kılmaktadır [46]. Dolayısıyla, polimer teknolojisindeki gelişmeler ve yeni üretim teknikleriyle yenilikçi, yüksek fonksiyonel ve performanslı liflerin üretimi, koruyucu giysi sistemlerinin performans özelliklerini her geçen gün daha üst seviyeye çekmektedir.

Koruyucu giysi üretiminde yaygın olarak kullanılan fonksiyonel lifler ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

1.4.1. Aramid lifleri

Aramid lifinin çekme mukavemeti ve modülü organik liflerden oldukça yüksektir ve lif uzaması düşüktür. Aynı zamanda, organik solventlere, yakıtlara, yağlayıcı maddelere ve aleve karşı doğal bir direnç göstermektedir [92].

1.4.1.1. P – aramid lifi

P – aramid lifleri yüksek mukavemet ve balistik özelliği sayesinde koruyucu giysiler için temel malzeme olarak ticari açıdan geniş kullanıma sahiptir. Dupont firması tarafından piyasaya sunulan Kevlar®, Acordis tarafından sunulan Twaron®, Teijin firmasının sunduğu Technora® bu lifler içerisinde dâhil olan ticari markalardır. Para-aramid liflerini balistik koruma, yırtılmaya ve aleve karşı dayanıklı koruyucu giysi uygulamaları için uygun kılan temel özellikleri; yüksek mukavemetleri, yanmazlık ve yüksek sıcaklık dayanımı olarak özetlenebilir. Bu lifler aynı zamanda dinamik enerji absorplama kabiliyeti olan lifler olarak ta bilinmektedir [46].

1.4.1.2. *M – aramid lifi*

M – aramid lifleri yüksek sıcaklık dayanımına, orta derecede mukavemete ve düşük modüle sahip olmakla birlikte, mükemmel bir ısı dirence sahiptir. Bu lifler, termal koruma ve elektriksel yalıtım özellikleri istenen alanlarda kullanılmaktadır [93]. Nomex® ve Corex® gibi ticari markaların yanı sıra, Kloopman® firması tarafından üretilen, Kermel® lifi, m – aramid ailesi içerisinde sınıflanmış polyamid – imid – yüksek LOI (Limit Oxygen Index) değerine sahip olduğundan yanmaz bir lifdir. Erime göstermeksizin alev ve kömürleşmeye maruz kaldığında kumaş bütünlüğünü korumaktadır. Kermel® lifi, kalıcı yumuşak bir yüzeye ve dairesel kesit yapısına sahiptir. Olağanüstü aşınma ve boncuk dayanımı kadar yumuşak bir tuşe ve mükemmel bir mukavemete de sahiptir. Aynı zamanda, diğer aramid liflerinin yarısı kadar termal iletkenliğe sahip olmasının yanında, sıcaklıktan optimum koruma sağlar, böylece giysi ve kullanıcı cildi arasındaki koruyucu katmanın stabilitesine de yardımcı olur [38].

1.4.2. **Polietereterketon lifleri (PEEK)**

PEEK (polietereterketon) yarı kristalin yapıdaki aromatik termoplastik polimerler ailesinin (polieterketon (*PEKs*)) önemli bir üyesidir. Kimyasal açıdan, *PEEK* bir keton ve iki eter grubu biriminin polimer tekrarına sahiptir. Sahip olduğu bu yapı; sadece karbon, hidrojen ve oksijen atomları içeren; lineer, tamamen aromatik ve yüksek düzeyde kararlı bir yapı sağlamaktadır. Yüksek sıcaklık dayanımına sahip olmasının yanı sıra, yüksek sıcaklıklardaki birçok sıvı, buhar ve kimyasal reaktifler tarafından etkilenmezler. Duman ve zehirli gazların düşük seviyelerinden birini yayan ve %35 LOI değeriyle kendi kendini söndürebilme yeteneğine sahip liflerdir. Yapısı itibarıyla sert olduğundan, sürtünmeye ve aşınmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda ve nispeten yüksek yüzey hızlarında dahi iyi bir aşınma dayanımı mevcuttur. Özellikle camsı geçiş sıcaklığı olan 143°C' nin altında; düşük sünme ve çekme özelliği göstermesinin yanında, mükemmel bir rezilyansa ve esnek yorulma performansına sahiptir. Dolayısıyla, *PEEK* liflerinin termal, kimyasal ve aşınma dayanımı endüstriyel liflerle karşılaştırıldığında pek çok ayrıcalığı beraberinde getirmektedir [94].

1.4.3. Polifenilen sülfid lifleri (PPS)

Kristalin termoplastik bir lif olan polifenilen sülfid (PPS), normal polyester lif ile benzer mekanik özelliklere, mükemmel bir sıcaklık ve kimyasal dayanıma sahiptirler. Lif olarak oldukça büyük öneme sahip olan PPS (poli(fenilen sülfid)), nispeten inert grupları ile birbirine bağlandığı polimer zinciri içerisindeki aromatik grupların varlığı dolayısıyla PEEK polimerinin bir çok özelliğini taşımaktadır. Ayrıca, gerilme özelliklerini kaybetmeme açısından değerlendirildiğinde ışığa karşı diğer yüksek performanslı liflerden daha zayıf olduğu söylenebilir. Kimyasallara karşı mükemmel bir dayanıma sahip bu liflerin organik solventlere karşı dayanımı değişkenlik göstermesine rağmen yine de yüksektir. Öte yandan, nispeten yüksek LOI (%34 – 35) değeriyle kabul edilebilir doğal alev geciktirici etkiye sahiptir. Ancak, benzer yapıdaki diğer lifler için gözlemlenen LOI değerinden daha az olması ve bu liflerin oksitleyici maddelere karşı duyarlılığından dolayı, polimer zinciri içerisindeki mevcut kükürt atomunun oksidasyon kolaylığı vardır. Ticari olarak ilk PPS lifi, 1980' li yılların başlarında *Ryton®* markasıyla Philips Fibers Corp. tarafından üretilmiş, daha sonra sırasıyla Bayer, Teijin, Toyobo firmaları *Procon®*, Toray firması *Torcon®* ve Celanese firması da *Fortron®* olarak bu lifi piyasaya sürmüşlerdir [95].

1.4.4. Novoloid (kür fenol-aldehit) lifleri

Kynol® novoloid lifleri Japon Kynol Corp. tarafından üretilmiş, genellikle eliptik kesite sahip; çapraz bağlı, amorf fenol-aldehit lifleridir. Kimyasal açıdan, bu lifler yaklaşık olarak %76 karbon, %18 oksijen ve %6 hidrojen içermektedir. Tekstil materyali olarak bu lifler, alev veya sıcaklık varlığında; herhangi bir sıcaklıkta erimeden yüksek dayanıma, en düşük seviyede duman oluşumuna, çok az ya da hiç çekmeye ve malzeme bütünlüğünü koruma özelliğine sahipken, asla kırılma göstermez ve zehirli gaz açığa çıkarmazlar. Ayrıca, asite, solventlere, buhara, kimyasallara ve yakıtlara karşı yüksek erime dayanımına, iyi derecede nem alımına ve yumuşak bir tuşeye sahiptirler [96].

1.4.5. Polibenzimidazol lifleri (PBI)

Polibenzimidazol, yüksek termal ve kimyasal stabilite gösteren polimerler sınıfına girmektedir. Ticari olarak kullanıma sahip PBI, poli (2,2'-(*m*-fenilen)-5,5'-dibenzimidazol) şeklinde adlandırılmaktadır. Bu özel PBI sahip olduğu mükemmel

termal stabilitesi ve işlenebilirliği sayesinde ticarileştirilmiştir. Merdiven benzeri yapıdaki polibenzimidazol, termal stabilitesinin çoğunu oluşturduğu bütünüyle aromatik yapısından kazanmaktadır. PBI lifi yüksek derecede sıcaklığa maruz kaldığı esnada ve sonrasında bile fiziksel ve mekaniksel bütünlüğünü devam ettirmektedir [97]. Ayrıca, organik ve inorganik esaslı tüm kimyasallara karşı mükemmel bir dayanıma sahiptir. Bununla birlikte, fiziksel açıdan çok sayıda arzu edilen özelliğe sahiptir. Özellikle, yüksek nem alımı, düşük modülü ve son derece iyi çekme mukavemeti koruyucu tekstil uygulamaları bakımından onu mükemmel bir aday haline getirmektedir. Dolayısıyla, bu lifin sahip olduğu üst düzey tekstil özelliği ve geleneksel tekstil donanımlarında kolayca işlenebilirliği, onu yüksek performans özelliği gösterme yönünden diğer liflerle karışım halde kullanılmasını oldukça cazip kılmaktadır. Bundan dolayı, PBI lifinden veya PBI karışımlı liflerden üretilen kumaşlar olağanüstü alev geciktirici ve pamuk hissi uyandıran yumuşak tuşeli ürünler olarak bilinmektedir [98].

1.4.6. Didon® lifi

Didon®, Techfiber® firması tarafından piyasaya sürülmüş güç tutuşur özelliğe sahip özel bir poliakrilat lifidir. Düşük yoğunluğu, yıkama sonrası hiçbir şekilde çekme gözlemlenemeyişi, diğer sentetik polimerlerle karşılaştırıldığında daha fazla nem alımı, yüksek mekaniksel dayanımı, esneme kabiliyeti ve termal iletkenliği gibi ilgi çekici fiziksel özelliklere sahip olmasının yanı sıra, tüm organik solventlere karşı dayanıklı olup, yüksek konsantrasyonda oksitleyici maddeye, asite ve baza karşı hiçbir şekilde zarar görmez, mukavemeti ve mekanik dayanımı etkilenmeden kalır. Öte yandan, alev maruz kaldığında; minimum seviyede opak duman açığa çıkarmakta ve zehirli gaz oluşturmamaktadır. Mineral lifler hariç pazardaki diğer liflerle karşılaştırıldığında yüksek LOI değeriyle (%40) mükemmel bir güç tutuşur özelliğe sahiptir ve erime göstermemektedir. Dolayısıyla, Didon® lifinin yüksek kimyasal dayanımı ve alev geciktirici özelliği koruyucu giysi üretiminde ve yanma karakteristiği de zehirli gaz filtrasyonunda son derece önemli kılmaktadır. %100 Didon® lifinden veya bu lifle karışım halde üretilmiş kumaşlar, koruyucu itfaiyeci giysilerinde, ormancı kostümlerinde, elektrik şirketlerinde çalışan koruyucu işçi giysilerinde, yarışçı giysilerinde ve kısacası yüksek koruma gerektiren bütün alanlarda koruyucu giysi olarak kullanılmaktadır [99].

1.4.7. Lenzing FR®

Lenzing FR®, modal lifi grubunda Lenzing® firması tarafından piyasaya sürülen doğal alev geciktirici selülozik bir liftir. Modal lifleri, gelişmiş renk haslığı kadar, ıslak ve kuru şartlarda sağladığı yüksek direnç ile gelişmiş viskoz lifi jenerasyonudur. Modal liflerinin aynı zamanda yumuşaklık ve düşük sürtünme katsayısı ile bilinmektedir. Lenzing FR®, özellikle konfor açısından performansı arttırabilen, yüksek performanslı güç tutuşur lif olarak tanınmaktadır. Lenzing FR®, yüksek derecede aleve ve sıcaklığa maruz bırakılsa bile hızlı bir şekilde serinlik hissi sağlamaktadır. Ayrıca, sahip olduğu bütünleşmiş doğal nem yönetimi; kötü koku oluşturan bakterilerin gelişmesine engel teşkil ediyorken, vücut klima kontrolü özellikleri sıcaklık baskısı ve çarpması riskini minimize etmektedir. Lenzing FR® kullanılarak üretilen koruyucu giysiler mükemmel bir koruma sağlamasının yanı sıra, konfor ve esnekliği de beraberinde getirmekteyken, giyside yaşam boyu kalıcı korumaya sahip doğal güç tutuşur özelliktedirler [100].

1.4.8. Nexylon FR®

EMS-GRILTECH firması tarafından sunulan Nexylon FR® yeni geliştirilmiş PA 66 esaslı alev geciktirici bir liftir. Lif çekimi esnasından poliamidin içerisine eklenen FR kimyasallarıyla kalıcı bitim işlemi uygulanan bu lif, diğer sentetik esaslı liflerle veya yün ve pamuk gibi tabii liflerle de karıştırılarak; ipliklerin termal stabilitesini artırmada kullanılabilir. Poliamid lifinin beraberinde getirdiği yüksek aşınma dayanımının yanı sıra, güç tutuşur karakteristik kazandırılan bu lif, ömür boyu ve yüksek performans sağlamaktadır. Cilde temasında herhangi bir alerjik ya da biyolojik tehlikesi bulunmayan Nexylon FR® lifi; haslığı yüksek, oldukça iyi fiziksel özelliklere sahip, boyanabilirliği iyi ve uygulama sahası geniş, yüksek performanslı alev geciktirici bir üründür. LOI değeri %28 olan yenilikçi bu lif, başta koruyucu giysi üretimi olmak üzere, yüksek dayanım isteyen birçok alanda kendine yer edinebilecek inovatif bir tekstil ürünüdür [101].

1.5. Termofizyolojik Konfor Kavramı

Termofizyolojik konfor, vücudun bulunduğu ortam koşulları dâhilinde çevresiyle arasında enerji dengesi sağlanması olarak tanımlanabilir [102]. Giysi bünyesindeki terin/nemin buharlaşarak uzaklaşması, çeşitli aktiviteler sonucunda veya sıcak ortam koşullarında meydana gelecek vücuttaki aşırı ısınmanın engellenmesiyle

termofizyolojik konfor sağlanmış ve vücudun ısı dengesi muhafaza edilmiş olur [103]. Dolayısıyla, insan vücudu ile direkt temas halinde olan kumaşların, oluşan ısıyı ve nemi transfer edebilecek kabiliyete sahip olması gerekmektedir. Böylece gerekli termofizyolojik konfor elde edilmiş olacaktır.

Islak haldeki kumaşların termofizyolojik konforu:

- Islak durumdaki termal direnç ve
- Ciltten dış ortama nemin buharlaştırılması sonucu aktif soğutma ve bu su buharının giysi katmanlarından geçmesi ve giysinin dış yüzeyinden ortama doğrudan buharlaştırılması olmak üzere iki ana bileşeni içerir [104].

Termofizyolojik konfora etki eden unsurlar şunlardır [105]:

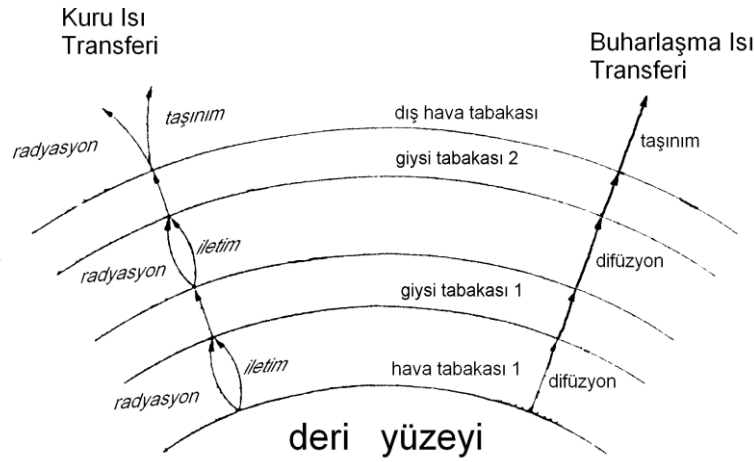
- a. Liflerin özgül ısısı
- b. Liflerin ve kumaş yapısında hapsolmuş havanın termal iletkenliği
- c. Kumaş yüzeyi (lif tipi, örgü yapısı, tüylendirme zımparalama gibi yüzey işlemleri)
- d. Kumaş kalınlığı
- e. Kumaşın hacim yoğunluğu
- f. Kumaş ve çevre yüzeyler arasındaki temas alanı
- g. Kumaş tarafından su absorpsiyonundan dolayı gerçekleşen ısı kazanımı
- h. Işınım ile gerçekleşen ısı kaybı (cilt ve kumaş yüzeylerinin yayabilirlikleri)
- i. Ciltten kumaşa ve kumaş yüzeyinden konveksiyon ile gerçekleşen ısı kaybı
- j. Ciltten ya da kumaştan su buharlaşmasıyla gerçekleşen ısı kaybı
- k. Ciltten kumaşa iletimle gerçekleşen ısı kaybı
- l. Dış atmosfer koşulları (sıcaklık, göreceli rutubet, çevre havanın hareketi).

Vücut gerçekleştireceği faaliyet için meydana getirdiği enerjiyi harcarken ısı açığa çıkmaktadır. Yapılan faaliyetin cinsine bağlı olarak ortaya çıkan ısı miktarı farklılık gösterir (Tablo 1.5).

Tablo 1.5. Vücudun farklı aktivitelerde ürettiği enerji miktarları [106].

Eylem	Enerji [J/sn]
Tam dinlenme durumu (uykuda)	75
Oturma durumunda	100-125
Orta derecedeki bir çalışma	300-400
Ağır çalışma koşullarında	700 (1 saatlik çalışma durumunda)
En üst seviyede antrenman	1200 (6 dakikalık antrenman sonrasında)

İnsanoğlunun ideal vücut sıcaklığı 37°C olup, bu değerin üzerine çıkılan her bir derece başına vücudun oksijen tüketimi 0,15 kat daha artmaktadır. Tüm bu artış sonucunda vücut daha fazla yorulmakta ve bitkin düşmektedir [106, 107]. Dolayısıyla, bu değerin vücut tarafından dengede tutulabilmesi için aktivite düzeyine bağlı olarak açığa çıkacak fazla ısı vücuttan dış ortama transfer edilmesi gerekmektedir. Transfer işlemi sırasıyla önce vücudun en dış katmanı olan deriye, deriden de dış ortama taşınım, ışıınım, iletim veya terleme yoluyla gerçekleşmektedir (Şekil 1.20).



Şekil 1.20. Deriden çevreye olan ısı transferi diyagramı [107].

İnsan vücudunun toplam ısı eşitliği, Q [watt] olarak tanımlanmaktadır ve ısı/zaman'a [joule/saniye] eşittir (Denklem 1.2).

$$M + \frac{L}{\eta} \pm Q_{\text{kontakt}} \pm Q_{\text{konveksiyon}} \pm Q_{\text{radyasyon}} - Q_{\text{yavaş terleme}} - Q_{\text{nefes alma}} - Q_{\text{normal terleme}} = 0 \quad (1.2)$$

burada, M (joule), metabolizmanın enerjisini; L (joule), kas enerjisini; η (%), verimliliği; $Q_{\text{yavaş terleme}}$ (j/s), derinin gözeneklerinde meydana gelen kalıcı buharlaşma ve soğumayı; $Q_{\text{nefes alma}}$ (j/s), terlemeyle oluşan soğumayı; Q_{terleme} (j/s), beyindeki

hipotalamus ile kontrol edilen terleme bezleri sayesinde aşırı soğuma ve avuç içi terlemeyi ifade etmektedir.

Vücudun ürettiği enerji vücudun dışarıya attığı enerjiden büyük olduğu halde sıcaklık hissi, küçük olduğu halde de serinlik hissi söz konusudur [108].

1.5.1. Termofizyolojik Konforu Etkileyen Faktörler

Kişinin termofizyolojik konfor hissi, mikro klima olarak adlandırılan ve cilt ile kumaş/giysi arasındaki mevcut hava tabakası tarafından belirlenmektedir. Mikro klima, Şekil 1.21’ de gösterildiği gibi sıcaklık, ortamın bağıl nemi, havalandırma etkisi, ısı ve nem akış hızı/oranı ile karakterize edilmekte ve bu faktörler; insanla ilişkili, giysi ve çevresel parametrelere bağlı olarak değişmektedir [109].



Şekil 1.21. Mikro klimayı etkileyen faktörler [109].

1.5.1.1. Çevresel Parametreler

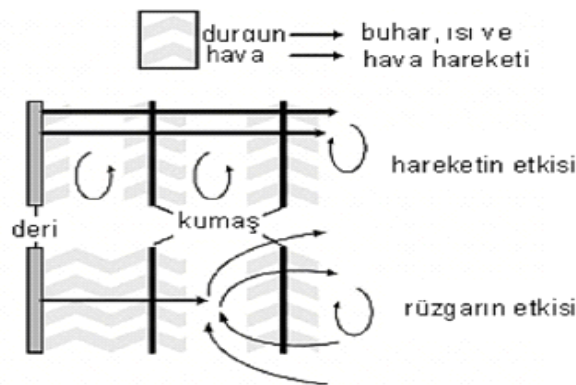
Termal/Termofizyolojik konforun sağlanmasında ve vücudun ısı dengesinin korunmasında başlıca rol oynayan ısı transferini etkileyen çevresel parametreler şunlardır:

Sıcaklık, bu parametreler arasında başlı başına kişi konforunu etkileyen önemli bir faktördür. Ortam sıcaklığı vücut sıcaklığının üzerinde bir değere sahipse, vücut çevreden ısı alarak ısı kaybına uğramaz. Dolayısıyla, yüksek hava sıcaklıklarında vücudun ısı kaybı da daha az olacaktır [110].

Ortamdaki *nem* seviyesi vücuttaki terleme miktarını da doğrudan etkilemektedir. İnsan cildinden dış ortama buhar formunda gerçekleşen nem akışıyla yani terlemeyle ısı kaybı, genellikle cildin ihtiva ettiği nem miktarının dış ortamdaki daha yüksek olduğu durumlarda gerçekleşmektedir. Aksi halde, ortamda mevcut nem miktarı deridekinden yüksekse bu nem deri üzerinde birikerek kişiye rahatsızlık hissi verecektir [110].

Rüzgâr hızındaki artış ortamın sıcaklık koşullarına göre ısı iletimini de artıracığından, ısınmayı veya soğumayı hızlandırıcı etki gösterecektir [110].

Kumaş katmanları arasındaki hareketsiz hava tabakası giysinin ısı yalıtımını olumlu şekilde etkilemektedir. Dış *ortamdaki hareketli (rüzgârlı) hava*, kumaşın gözenek ve giysi açıklıklarına bağlı olarak dış katman kumaşın hava geçirgenlik derecesine göre içeri taşınarak bu durgun havayı yer değiştirmeye zorlayacak ve uyguladığı basınçta giysi kalınlığını azaltarak termal direnci azaltıcı etki gösterecektir [110].



Şekil 1.22. Rüzgârın ve kullanıcı hareketinin kumaş katmanları arasındaki hava tabakasına etkisi [110].

Ayrıca, Şekil 1.22’ den de görüleceği üzere ortamdaki hava hareketinin yanı sıra, giysiyi giyen kişinin fiziksel hareketleri de kumaş katmanları arasındaki hava tabakasını etkilemektedir.

1.5.1.2. İnsanla İlişkili Konfor Parametreleri

Vücuttan buharlaşarak hissedilmeyen ve sıcak ortamlarda sıvı formunda oluşarak hissedilen ter olarak iki biçimde; yapılan aktivitelere ya da psikolojik duruma bağlı olarak vücut sıcaklığının artması sonucu vücudun aşırı ısınmasının önüne geçmek ve termal dengeyi sağlamak için terleme olayı gerçekleşmektedir. Vücut aktivitesi sonucu

meydana gelecek bu olay termofizyolojik konforu doğrudan etkileyen bir insani parametredir. Ter vücuttan kısa sürede uzaklaştırılmazsa, etrafındaki bölgenin bağıl nem seviyesini yükseltecek, bu durumda da vücuda ıslaklık ve yapışkanlık hissi vererek konforu olumsuz yönde etkileyecektir. Islak haldeki giysi çok hızlı biçimde soğuduğundan, hareket halindeki insanda vücut hareketiyle birlikte deriden uzaklaşan giysinin deriden alarak bünyesinde barındırdığı ter buharlaşırken soğuyacak ve vücuda tekrar temasında ise soğukluk hissine neden olacaktır. Hızlı biçimde buharlaştırılan ter ise hissedilmeyecek ve bu durum ise termofizyolojik konfora olumlu yönde etkiyecektir [110].

Vücut meydana getirdiği aksiyonlar (kas titreşimleri, biyokimyasal parçalanmalar ve fiziksel aktiviteler vs.) sonucu ısı üreten ve oluşan bu ısıyı dengede tutmaya çalışan termodinamik yapıya sahip bir sistemdir. Isıl dengenin sağlanması, üretilen ısıya eşit miktarda ısıнын vücuttan uzaklaşmasıyla gerçekleşecek, ısıl dengenin sağlanamaması durumunda da: deri sıcaklığındaki artış - azalışa paralel olarak konfor problemleri meydana gelebilecek, öte yandan hayati tehlikelere bile yol açabilecektir. Vücudun ısıl dengesini bozan durumlar şu şekilde sıralanabilir [111]:

- Vücudun ani fiziksel aksiyonu,
- Sıcaklık ve nem değeri farkı yüksek olan bir ortamdan diğerine geçiş,
- Vücudun aktivitesi sonucu meydana gelecek terin veya vücut sıvısının yüksek miktarda ve kısa sürede dışarı atılmasıdır.

Isı, yüksek sıcaklıklı bölgeden düşük sıcaklıklı bölgeye doğru geçme eğiliminde olan bir enerji çeşididir. Bu geçiş, dört mekanizmadan birisiyle gerçekleşir. Bunlar:

(1) *Taşıma (Konveksiyon)*, gaz veya sıvı akışkanlarda moleküllerin makroskobik hareketi ile oluşur. Sıvı ve gazlardaki yaygın mekanizmadır. Isı akışı doğal yollarla gerçekleşiyorsa; *doğal taşıma*, fan, pervane vb. cihazlarla gerçekleşiyorsa *zorlanmış taşıma* adını alır [112].

(2) *İletim (Kondüksiyon)*, katı cisimlerde ısı iletimi, hızla hareket eden veya titreşen, sıcak atom ve moleküllerin enerjilerini temas halindeki komşu atom ve moleküllere aktarmasıdır. Katı cisimlerde en yaygın görülen mekanizmadır [112].

(3) *Işınım (Radyasyon)*, malzeme içindeki atomların ve moleküllerin hareketlerinin bir sonucudur. Çünkü yüklü parçacıklara sahip olan atom ve moleküllerin hareketi yüzey sıcaklığı arttıkça yükselen elektromanyetik emisyonu sebep olur ki; bu emisyon malzeme yüzeyinden enerji taşır. Işınım, vakumda görülebilecek tek ısı transfer mekanizmasıdır [112].

(4) *Yoğuşma*, en az görülen mekanizma olup, buhar halindeki sıvının, soğuk bir yüzeye temas etmesiyle yoğuşma meydana gelir ve çevreye ısı salınır [112].

1.5.1.3. Giysi Parametreleri

Vücudun ısı dengesinin korunmasında, vücudu örtme/korunma amaçlı kullanılan giysi vücut ile çevresi arasındaki ısı transferini destekler yapıda olması gerekir. Bu bağlamda, giysinin fiziksel aktiviteler ve dış ortam şartları dâhilinde vücudun sıcaklık dengesini sağlaması, meydana gelen terin atmosfere hızlı biçimde transfer edilerek vücuda serinlik hissinin sağlanması; dolayısıyla da termal/termofizyolojik konfor açısından optimum yarar sağlaması bakımından ideal bir giysi kumaşı şu özellikleri taşımalıdır [113]:

- Yüksek termal direnç,
- Etkili bir ısı transferi için ılımlı termal ortam şartları altında yeterli düzeyde su buharı geçirgenliği ve yüksek termal ortam şartları altında hızlı sıvı akışı sağlayarak terlemeden kaynaklanan konforsuzluk hissini ortadan kaldırmak.

İstenen düzeyde termal/termofizyolojik konforun elde edilmesinde etkili giysi parametreleri aşağıda verilmiştir.

(a) *Lif Tipi*

Giysilerde kullanılan lif tipi termal/termofizyolojik konforu belirleyen başlıca etkidir. Lifler bu konforu sağlama adına; nem aldığında şişerek ısı ve nem transferini olumsuz yönde etkilememek, vücudun aktivite sonucu meydana getirdiği terin kolayca emildikten sonra kumaş katmanından hızlı biçimde geçirilip dış ortama rahatlıkla atılması ve bu sayede tene kuruluk hissi sağlaması gibi talepleri karşılayacak yapıda olması gerekir. Termal/termofizyolojik konfor açısından doğal liflerin sentetik liflere oranla daha avantajlı olduğu algısı, doğal liflerin konfor bakımından bütün özellikleri istenilen düzeyde sağlayamamasından dolayı doğruluğunu yitirmektedir. Ancak, özellikle kesit yapısında değişime imkân tanıyan sentetik liflerin bazıları, farklı kesit

yapılarının beraberinde getirdiği oldukça iyi kılcallık özelliği sebebiyle ileri düzeyde termal/termofizyolojik konfor sağlama bakımından tercih edilmektedirler. Öte yandan, bu özellik sentetik liflerin hepsi tarafından karşılanamamaktadır. Bu yüzden ilgili konforu sağlama adına giysi sistemlerinde kullanılan kumaşlar talep edilen konfor düzeyinde doğal liflerle karışım halde kullanılarak, liflerin sahip olduğu avatajlar bir araya getirilmekte ve bu sayede dezavantajların giderilmesi amaçlanmaktadır [114].

(b) İplik Yapısı

İplik üretim teknolojisi ve buna bağlı olarak ta üretilen ipliğin yapısı, iç yüzeyi tene temas halinde olan kumaşın yüzey yapısını doğrudan etkilemektedir. Meydana gelen terin ve vücut sıvılarının dış ortama iletilmesinde ara yüzey olan kumaşın üretildiği ipliklerin ihtiva ettiği ince kılcal lif sayısı, iplik kalınlığı ve iplik büküm değeri (nem geçişi için optimum değer 35 - 175 T/m' dir.) ilgili sıvıların iletiminde oldukça önemli bir rol oynamaktadır [115].

(c) Örgü Yapısı

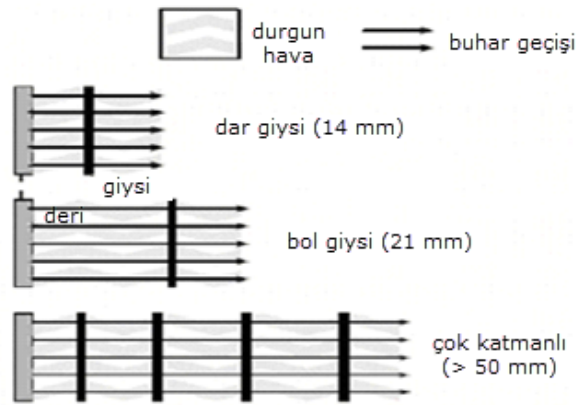
Örgü yapısı, kumaş yüzeyindeki ve içerisindeki hava boşluk sayısını değiştirmekte ve bu durum giysi kumaşının termal iletkenliğine; dolayısıyla da, termal konfor açısından termal dirence, termofizyolojik konfor açısından da su buharı geçişine imkan tanıyacak gözenek sayısına etkimektedir. Termal iletkenliği ideal yalıtkan malzeme olan durgun havadan daha yüksek olan tekstil ürünlerinin hacimliliği örgü yapısına bağlı olarak değişeceğinden, yapısında daha fazla hava tutma kapasitesine sahip olan hacimliliği yüksek tekstil ürünlerinin ısı direnci yüksektir [116].

(d) Kumaş Kalınlığı

Kumaş kalınlığı iletkenlik özelliklerine etkiyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Malzemenin ihtiva ettiği hava miktarı, kalınlığına doğru oranda değişmektedir. Dolayısıyla, kumaş kalınlığındaki artış, yapısında barındıracağı hava miktarını artıracığından, bu durum malzemenin termal ve su buharı geçirgenlik direncini artıracığından, nem ve ısı iletkenliğini azaltacaktır [110].

(e) Giysi Bileşenleri

Birden fazla kumaş katmanına sahip giysi sistemlerinde, katman kumaşları arasındaki ve giysi sisteminin dışında yer alan hava, giysi sisteminin toplam yalıtım değerine katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla da, çok katmanlı giysi sistemlerinin toplam yalıtım değeri, her bir kumaş katmanının sahip olduğu yalıtım değerinden yüksek olacak (Şekil 1.23), bu katmanlar arasındaki mesafe düşük olduğunda, yani giysi vücudu sıkıca sardığında içerisindeki hava katmanı azalacağından, yalıtım değeri düşük olacaktır [110].



Şekil 1.23. Kumaş ve hava katmanlarının toplam ısı ve su buharı direncine etkisinin şematik gösterimi [110].

Her biri farklı özellik gösteren tabakalardan meydana gelecek koruyucu giysi, fonksiyonel kumaş katmanları arasında termofizyolojik konforun devamlılığı adına, su buharı ve ısı geçişine imkân sağlayacak, en dış katmandan itibaren giysi içerisine kimyasal madde sızıntısını engelleyecek ve aleve karşı yüksek direnç gösterecek yapıda olmalıdır (Şekil 1.11).

1.5.2. Termofizyolojik Konforun Değerlendirilmesinde Kullanılan Parametreler

Koruyucu giysi kullanımında en önemli konfor parametrelerinden bir tanesi termofizyolojik konfordur. Termofizyolojik konfor, giysilerin ısı ve nem geçirgenlik özellikleri ile ilgili olup, tekstil ürünlerinin termofizyolojik konfor davranışının tespitinde; termal iletkenlik, termal direnç, termal soğurganlık, termal difüzyon, hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği parametreleri kullanılmaktadır.

1.5.2.1. Termal İletkenlik

Termal iletkenlik malzeme üzerinde mutlak bir sıcaklık gradyanı varsa (kumaş uzunluğunca sıcaklık farkı), bu malzeme boyunca gerçekleşecek ısı akışını (birim alandan, birim zamandaki enerji) tanımlayan bir özelliktir [117].

Termal iletkenlik kumaşın önemli bir termal özelliğidir. Kumaş veya lif kütlesinin termal iletkenliği; hava boşluğundan aktarılan ısı ve lif içerisinde aktarılan ısı olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır [118].

Termal iletkenlik, 1°C sıcaklık farkında birim kalınlıktaki malzemedan geçen ısı miktarının ölçüsü olarak aşağıdaki denklem vasıtasıyla ifade edilmektedir (Denklem 1.3) [119]:

$$\lambda = \frac{qh}{\Delta T} \text{ (W/mK)} \quad (1.3)$$

burada, q ısı akış miktarı (W/m²), h kalınlık (m) ve ΔT sıcaklık farkı (K)' dir.

Termal iletkenliği 0.033 – 0.01 W/mK aralığında değişen tekstil materyallerinde nemin (suyun) istenmeme sebebi; 20°C' de durgun havanın termal iletkenliğinin (0.026 W/mK) suyunkinden (0.6 W/mK) oldukça düşük değere sahip olmasıdır [104].

Denklem 1.3' den de anlaşılacağı üzere, kumaşın kütleli yoğunluğundaki (kumaş kalınlığı) ve havadan kumaşa geçen ısı akış miktarındaki değişim, termal iletkenliği doğrudan etkileyecektir.

Yüksek termal iletkenliğe sahip bir kumaş sıcak bir bölgeden (insan vücudu), soğuk bir bölgeye (giysinin diğer tarafındaki hava) kolayca ısı geçişine imkân sağlar. Özellikle sıcak havalarda giyilen giysiler için, bu özellik oldukça önemli bir faktördür [120].

Çeşitli liflerin termal iletkenliklerinde herhangi bir farklılık isteniyorsa, termal iletkenlik ölçümleri, lif iletkenliğinin daha etkili hale geldiği yüksek kumaş yoğunluğu üzerinde yapılmış olmalıdır [118].

Termal iletkenlik kumaş içerisine ısı geçişini belirlemektedir. Islak durumda, artan termal iletkenlik ter üretim miktarının düşmesine öncülük edebilmektedir [121].

Spencer-Smith' e [122] göre, nem alımı ile termal iletkenliğin lineer bir bağılılığı vardır. Ancak bu durumun geçerliliği kısımlıdır. Su buharı ve hava boyunca termal iletkenlik (20°C ' de $\lambda = 0.019 \text{ W/mK}$) ihmal edilecek olunursa, termal iletkenlik sadece depolanmış nem ve lifler boyunca ısı iletkenliğine bağlı olacaktır (Denklem 1.4):

$$\lambda_T = \frac{\lambda_{T,0} V_T + \lambda_W V_W}{V_T + V_W + V_L} \quad (1.4)$$

burada, λ_T (W/mK) ıslak kumaşın ısı iletkenliği, $\lambda_{T,0}$ (W/mK) kuru kumaşın ısı iletkenliği, λ_W suyun ısı iletkenliği (20°C ' de 0.598 W/mK), V_T kumaşın hacmi, V_W suyun hacmi ve V_L ise havanın hacmini belirtmektedir [122].

1.5.2.2. Termal Direnç

Termal direnç (r , ($\text{m}^2\text{K/W}$)) malzemenin esas kalınlığının ve termal iletkenliğinin bir fonksiyonudur (Denklem 1.5). Bu ilişki aşağıdaki formülde verildiği gibidir:

$$r = h / \lambda \quad (1.5)$$

burada, h (m) kumaş kalınlığı ve λ (W/mK) ise malzemenin termal iletkenliğidir [123].

Bu durumda, termal direnç bir malzemenin ne derece yalıtıma sahip olduğunun bir göstergesidir (zamanla değişen durumda kuru termal direnç ve izotermal durumda ıslak termal direnç) [117].

1.5.2.3. Termal Yalıtım Değeri (TIV)

Termal Yalıtım Değeri (TIV), bir yalıtkan olarak kumaşın ne kadar etkin olduğunu göstermekte de belirli bir sıcaklıkta tutulan sıcak yüzeyden ısı kaybındaki yüzde azalma olarak tanımlanmaktadır. Kumaşın termal yalıtım değeri, onun termal iletkenliğine, kalınlığına ve yüzey kumaşın termal emisyon özelliklerine bağlıdır. Yüzeyden ısı kaybına bağlı olarak, yalıtımdan dolayı ısı kaybı oranındaki azalmayı temsil eden bir yüzde olarak ifade edilir (Denklem 1.6) [123]:

$$TIV (\%) = \left[1 - \frac{(\lambda/\varepsilon_0)}{h + (\lambda/\varepsilon_1)} \right] \quad (1.6)$$

burada ε_0 ve ε_1 (Watt), yalıtkan olarak kumaşın bir yüzünden diğerine salınım gücünü; h (m), kumaş kalınlığını ve λ (W/mK) da termal iletkenliğini ifade etmektedir.

Termal/termofizyolojik konfor, vücudun aşırı ısınma veya soğumasının önüne geçilmesi ve vücudun ısıl dengesinin sağlanması için giysiden dış ortama veya dış ortamdan giysiye ısı transferi ile sıvı suyun, su buharının ve havanın giysi/kumaş içerisinde taşınmasıyla gerçekleşecek olan kütle transferi olmak üzere iki önemli faktörle karakterize edilmektedir [124].

1.5.2.4. Termal Absorptivite

Termal absorpsiyon insan cildinde hissedilen serinlik/sıcaklık olgusu bakımından kumaşın değerlendirilmesine imkân tanıyan bir yüzey özelliğidir. Kısacası tene kumaşın teması halinde serinlik veya sıcaklık hissi veren özelliktir [125]. İnsan cildinden farklı sıcaklıklara sahip bir giysiye dokunulduğunda el ve kumaş arasında bir sıcaklık farkı meydana gelecektir [126]. Düşük termal absorpsiyon değerine sahip kumaşlar ilk dokunuşta kullanıcıya sıcak bir his oluştururken, yüksek termal absorpsiyon özelliğine sahip olanlar ise serin bir his meydana getirmektedir.

Kumaşın bu özelliği ne kumaş ve cilt arasındaki sıcaklık derecesine ne de ölçüm zamanına bağlı olmayan zamana bağlı bir parametredir. Bir cihaz ya da alet parametresi değil gerçek bir tekstil karakteristiğidir.

Homojen malzemeler için termal absorpsiyon (Denklem 1.7) aşağıdaki formülle karakterize edilmektedir [125]:

$$b = \sqrt{\lambda \rho c} \quad (Wm^{-2}s^{1/2}K^{-1}) \quad (1.7)$$

burada, λ (W/mK) termal iletkenlik, ρ (kg/m³) kumaşın yoğunluğu ve c ise kumaşın ısılatma ısısıdır.

Termal absorpsiyon, kumaş içerisinde geçen ısı akışının tespitine de olanak sağlamaktadır (Denklem 1.8) [104].

$$q (W/m^2) = b(T_1 - T_2) / (\pi\tau)^{1/2}, b = (\lambda\rho c)^{1/2} \quad (1.8)$$

burada, ρc (J/m^3) kumaşın ısı kapasitesi, τ cilt ve kumaş arasındaki ısı temas süresi, T_1 insan derisinin sabit sıcaklığı, T_2 kumaşın başlangıç sıcaklığı, b ise termal absorpsiyondur.

1.5.2.5. Termal Difüzyon

Termal difüzyon kumaş yapısı içerisindeki hava boyunca ısı akışı ile ilişkili bir yetenektir. Tekstil materyallerinin bu özelliği zamana bağlı termal bir karakteristik olup, homojen malzemeler için aşağıdaki formülle tarif edilmektedir (Denklem 1.9) [127]:

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (m^2s^{-1}) \quad (1.9)$$

burada, a termal difüzyon, λ termal iletkenlik, ρ malzemenin yoğunluğu ve c ise spesifik ısı kapasitesidir.

1.5.2.6. Giysi ve Kumaşlarda Hava Geçirgenliği

Genel anlamda, iki yüzü arasında belirli bir basınç farkı bulunan kumaşın birim yüzeyinden geçen hava hacmi miktarı, “hava geçirgenliği” olarak tanımlanabilir [111, 128]. Kumaş içerisindeki hava hareketi viskozik sürüklenmeye bağlı olduğundan; örgü sıklığı arttıkça hava geçirgenliği oldukça azalmaktadır. Ayrıca, kumaş kalınlığındaki artış, hava geçirgenlik özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Kumaş yüzeyleri arasındaki basınç farkı, kumaş tabakası içinden geçen hava miktarını belirler ve hava hızı azaldıkça daha da kuvvetlenir [129]. Su buharı geçirgenlik ve kılcallık (sıvı su iletimi) özellikleri kumaşın hava geçirgenliğiyle doğrudan ilişkili olduğundan, hava geçirgenliği konfor özelliğini doğrudan etkiler [124].

ISO EN 9237 Standart’ına göre ölçüm yapan FX 3300 hava geçirgenliği test cihazı (Şekil 1.24), kumaşın veya giysinin her bölgesinden hava geçirgenliği ölçümüne imkan sağlamasının yanı sıra, herhangi bir yıpratıcı veya hasar bırakıcı etkisi yoktur [104].



Şekil 1.24. FX 3300 hava geçirgenliği test cihazı (TEXTTEST AG.) [104].

Benzer şekilde, SENSORA firması tarafından geliştirilen Airun ve SDL Atlas firması tarafından geliştirilen M021A model hava geçirgenliği test cihazları da kumaş üzerinde hasar bırakmadan hava geçirgenliği ölçümüne olanak sağlayan basit ve ekonomik bir cihazdır.

1.5.2.7. Giysi ve Kumaşlarda Su Buharı Geçirgenliği

Ciltten nem/buhar geçirebilme kabiliyeti su buharı geçirgenliği olarak tanımlanabilir [130]. Bağlı su buharı geçirgenliği (Denklem 1.10) malzeme boyunca su buharı geçiş oranı olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki denklemle tarif edilmektedir [117]:

$$\text{Bağıl su buharı geçirgenliği (\%)} = \frac{\text{Ölçüm kafası üzerine kumaş yerleştirildiğindeki ısı kaybı}}{\text{Çıplak ölçüm kafasından gerçekleşen ısı kaybı}} \times 100 \quad (1.10)$$

Termofizyolojik konforu etkileyen en önemli giysi/kumaş parametresi su buharı geçirgenliğidir. Dolayısıyla, termofizyolojik açıdan konforlu bir giysi yüksek su buharı geçirgenliğine sahip olmalıdır. Su buharı, giysi içerisinden etkili bir biçimde iletilmediği durumda, deri yüzeyinde bağıl nem değeri artmaya, bunun sonucu olarak giyen kişi ıslaklığı hissetmeye başlar [128, 131, 132]. Kumaş içerisindeki hareketliliği, kumaşın mikro gözenekli yapısına göre değişen su buharının iletilmesi, kumaş çevresinde meydana gelen buhar basıncı farkıyla gerçekleşmektedir.

Kumaş yapısındaki boşluklar, iplikler arası hava gözenekleri, gözenek büyüklüğü ve sayısı, su buharı geçirgenliğini doğrudan etkilemektedir. Gözenek büyüklüğü iplik

çapından, iplik çapı da lif karışımından etkilendiğinden su buharı geçirgenliğinin kumaş bünyesindeki liflerin nem alma özelliğinden hatırı sayılır derecede etkilenmesi söz konusu olabilir. Lifler, kimyasal içerikleri ve yapılarına bağlı olarak su buharı absorplarlar. Su buharı basınç farkı, su buharı absorpsiyon oranı yükseldikçe düşeceğinden, toplam su buharı geçirgenliği değerini de düşürecektir. Kumaşlarda kullanılan lif tipi ve nem alma özellikleri, kumaştaki yapısal boşluklardan gerçekleşecek su buharı iletimini etkilememektedir [124, 128, 133]. Yukarıda da belirtildiği gibi, kumaş yapısındaki gözeneklilik, termofizyolojik konfor açısından önemli parametrelerin başında gelen; su buharı geçirgenliğini doğrudan etkilemektedir. Örme kumaşların yüzeyi ipliklerce sarılmış gözeneklerden oluşmaktadır. Geçirgenlikle ilişkili örme kumaş özellikleri yüzeydeki gözenek yüzdesiyle oldukça yakın bir korelasyona sahiptir. Gözeneklilik basit bir formülle aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Denklem 1.11) [130]:

$$\text{Gözeneklilik} = \frac{\text{Gözenekle Kaplı Yüzey Alanı}}{\text{Toplam Yüzey Alanı}} \times 100 \quad (1.11)$$

Benzer şekilde su buharı geçirgenliği de kumaş yüzey özelliklerinden önemli derecede etkilenmemektedir. Ancak, terlemede olduğu gibi sıvı su kumaş ile temas halinde olduğu zaman, kumaş yüzeyinin ıslanabilirliği, kumaş tabakaları içinde gerçekleşen su buharı geçirgenliğini belirlemede de önemli bir faktördür. Bu durumda, kılcallık özelliği dikkat edilmesi gereken bir nokta konumuna gelmektedir [128, 133, 134].

ASTM standardı, “Terleyen bir manken kullanarak giysilerin buharlaştırma direncinin ölçümü için standart test yöntemi” adı altında toplam buharlaştırma direncinin ölçümü için iki tane seçenek sunmuştur (Denklem 1.12 ve Denklem 1.13) [135].

Bunlardan birincisi:

$$R_{et} = \frac{(P_s - P_a)A_s}{H_e - R_{es}} \quad (1.12)$$

burada, R_{et} : giysi topluluğu ve yüzey hava tabakasının toplamsu buharı geçirgenlik direnci ($\text{m}^2\text{Pa/W}$); P_s : mankenin terleme yüzeyindeki su buharı basıncı (Pa); P_a : giysi boyunca hava akışındaki su buharı basıncı (Pa); A_s : mankenin terleyen yüzey alanı (m^2);

H_e : 34°C’ de terleme alanının devamlılığı için gerekli ısıtma gücü (W); R_{es} : manken cildinin buharlaştırma direnci (m^2Pa/W)’ dir [135].

İkinci seçenek ise;

$$R_{et} = \frac{(P_s - P_a)A_s}{\lambda_q(dm/dt) - R_{es}} \quad (1.13)$$

burada, λ_q (Wsa/g); ölçülen yüzey sıcaklığında su buharlaştırma ısısı ve dm/dt (g/sa) ise mankenin terleyen yüzeyinden ayrılan nemin buharlaşma hızıdır [135].

Temel termal yalıtım formülünden yola çıkılarak, giysinin temel buharlaştırma direnci hesaplanabilir (Denklem 1.14 ve Denklem 1.15):

$$R_{cet} = (R_{et} - R_{ea})/f_{el} \quad (1.14)$$

$$R_{ea} = R_{em} - R_{es} \quad (1.15)$$

burada; R_{cet} : temel su buharı geçirgenliği direnci (m^2Pa/W); R_{ea} : çıplak manken etrafındaki hava tabakasının buharlaştırma direnci (m^2Pa/W); f_{el} : giysi alan faktörü; R_{em} : cilt ve hava katmanı da dâhil olmak üzere mankeninsu buharı geçirgenlik direnci (m^2Pa/W) ve R_{es} : sıkı yapıda giydirilmiş ıslak durumdaki her manken için ölçülen değerdir [135].

Yine verilen bu değerler vasıtasıyla, su buharı geçirgenlik indeksi de aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$i_m = \frac{R_t/R_{et}}{R_a/R_{ea}} = \frac{R_t/R_{et}}{16.65} \quad (1.16)$$

burada (Denklem 1.16), i_m : hava tabakası direnci de dâhil olmak üzere giysi için geçirgenlik indeksi ve R_a / R_{ea} ise genel değer olan 16.65°C/kPa’ dır [135].

1.5.3. Koruyucu Giysilerde Konfor Kavramı

Koruyucu giysiler yüksek koruma seviyeleri ve esnekliğe sahip olma avantajları bulunmakla birlikte çoğunlukla termofizyolojik konfor parametreleri açısından ihmal edilmişlerdir. Ancak, koruyucu giysilerin kullanıcıyı koruma işlevini yerine getirirken giyim konforunu da sağlaması beklenir. Koruyucu giysi kullanımı, sıcaklık baskısı, fiziksel ve psikolojik baskıya ek olarak bozulan vizyon, hareketlilik ve iletişim gibi önemli derece kullanıcı rahatsızlığı oluşturabilmektedir [37]. Dolayısıyla, koruyucu giysilerden beklenen; yüksek koruyuculuk, sağlamlık ve estetik özelliklerinin yanı sıra, kullanıcının çalışırken kendini rahat ve güvenli hissetmesini sağlayacak konfor özellikleri de koruyucu giysi kullanımında büyük önem arz etmektedir. Giysi konforu; ısı açıdan farklı çevre koşulları ve aktivitelere bağlı olarak vücut ile çevresi arasında uygun ısı ve nem geçişini sağlayarak, vücudun sıcaklık ve nem dengesini koruması olarak adlandırılır. Kişinin kendini konforlu hissedebilmesi için ortam sıcaklığı, nem seviyesi, hava geçirgenliği gibi çevresel faktörlerle uyum içerisinde olması gerekmektedir.

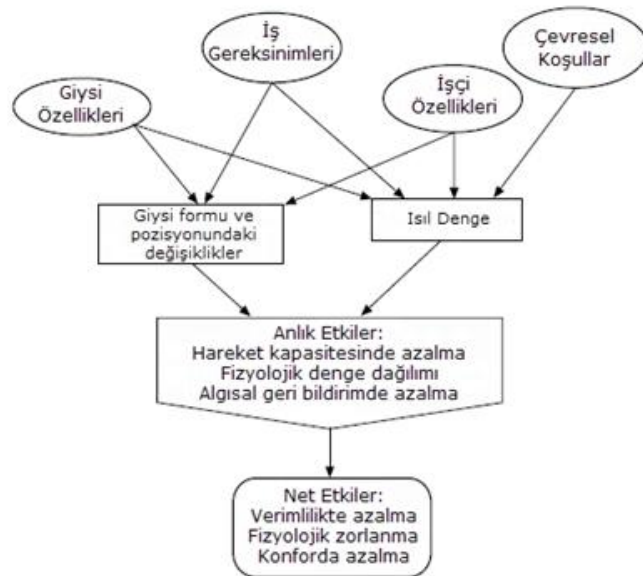
Çalışma şartları dikkate alındığında koruyucu giysilerin kullanıldığı işletmeler genellikle sıcak ve nemli olmaktadır. Dolayısıyla terleyen bedenden sıvı iletimi koruyucu giysi tasarımı açısından en önemli kriterlerin başında gelmektedir. Bu açıdan koruyucu giysilerde astar tasarımı önem taşımaktadır. Koruyucu giysilerin astar tasarımında lif tipi ve kumaş yapısı dikkate alınması gereken önemli kriterlerdir. Fonksiyonel liflerin kılcallık özelliği PES ve PP liflerinden daha iyi olduğu için nemi bedenden daha hızlı uzaklaştırıp bu sayede kullanıcıya konfor hissi sağlamaktadır. Bedendeki nem astar tarafından uzaklaştırılıp ıslaklığın vereceği rahatsızlık ortadan kalkmaktadır. Koruyucu giysiler insan vücudunu dış etkilere korurken giysi ile beden arasındaki ortamda uygun konfor şartlarını sağlamalıdır. Kumaş tasarımının giysinin fonksiyonel yapısı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Çok katlı kumaş yapıları tasarlanırken, vücutla temas eden kumaş katmanının hızlı bir şekilde vücuttaki teri emmesi diğer katmanların da vücuttan emilen teri hızlı bir şekilde dış ortama transfer etmesi ve vücuttan uzaklaştırması amaçlanmıştır.

Koruyucu giysilerde, bu transfer mümkün olmadığı için tüm tasarımın astar kısmında öngörülerek uygun konfor özelliklerine gerek kumaş yapısı, gerekse lif seçimi bazında

dikkatle yapılmalıdır. Fonksiyonel liflerin seçimi ve kumaşla uyumu bu açıdan önem göstermektedir.

1.5.3.1. Koruyucu Giysi Konforunu ve Performansını Etkileyen Faktörler

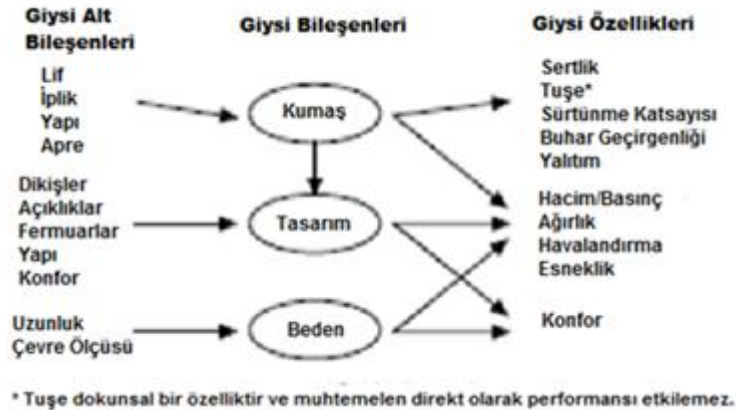
Kişisel koruyucu giysilerin işçi üzerindeki etkisiyle ilgili araştırmaların çoğu kumaş özelliklerine ve bu özelliklerin konfor, sıcaklık baskısı ve tolerans zamanına etkisi üzerine odaklanmaktadır. Bu araştırmaların neredeyse tamamı iş ve/veya giysi niteliğiyle alakalı olmuştur. Bazı çalışmalar giysi tercihi ve uygunluğuna özgü soruları cevaplamasına karşın, sonuçlar işçilerin giydiği diğer giysi sistemlerine veya gerçekleştirdikleri farklı görevlere genellikle aktarılamamaktadır. Performans üzerindeki giysi etkilerinin tahminlenmesi amacıyla kantitatif bir gösterge geliştirmek için, işçi performansının koruyucu giysi tarafından nasıl etkilendiğinin anlaşılması gereklidir. Şekil 1.25, belirlenmiş dört faktörün koruyucu giysi performansı üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin oluşturulmuş bir modeldir. Bu genişletilmiş modelde termal denge; giysi özellikleri, iş gereksinimleri, çevresel koşullar ve işçi karakteristikleri olmak üzere dört faktör tarafından etkilenmektedir [47].



Şekil 1.25. Belirlenmiş dört faktörün koruyucu giysi performansı üzerindeki olumsuz etkileri [47].

1.5.3.1.1. Giysi özellikleri

Koruyucu giysinin performansı nasıl etkilendiğinin anlaşılması için, işçi performansını potansiyel olarak etkileyen giysi özelliklerinin belirlenmesi ve sağlayacağı katkıların ölçülmesi gereklidir. Şekil 1.26, giysi özelliklerinin giysi verimi için bu çalışmada ilgilenilen özelliklerle birleştirilmesinin nasıl gerçekleştiğini göstermektedir [47].



Şekil 1.26. Giysi özellikleri ve alt bileşenleri arasındaki ilişki [47].

1.5.3.1.2. İş gereksinimleri

Bu dört faktörün ikincisi görev veya iş gereksinimleridir. Hareket işi gerçekleştirmek için gereklidir ve hız, yön, güç, dikkat ve büyüklük açısından tarif edilebilen bir kavramdır. Hareketin büyüklüğü veya uzaklığı eklem açısı değişimi ya da hareket mesafesi ile ölçülebilir. İş gereksinimleri bu hareketlerin karakteristikleri kadar neleri gerçekleştirmeleri gerektiğini belirlemektedir. Hareket metabolik ısının sonrası oluşumu ve kasların kasılmasını içerir. Birçok durumda, bu metabolik ısının vücuttan dışarı salınması veya transfer edilmesi göz önünde bulundurulur. İşçi hareketi giyside form değişikliğine de sebep olur. Giysi, vücut hareket halindeyken deride boydan boya yer değiştirerek, uzayarak, katlanarak ve kenetlenerek kaymalıdır. Bu mekanizmalar giysi karakteristikleriyle belirlenen direnç seviyesiyle giysi formundaki değişikliklerin hepsine karşı koyar. Şekildeki değişikliğe karşı direnç, kullanıcıya ek güç gereksinimi yükler ve hareket kabiliyetini tehlikeye atabilir [47].

1.5.3.1.3. İşçi karakteristikleri

İşçilerdeki fizyoloji, motivasyon ve antropometri karakteristikleri arasındaki farklılıklar koruyucu giysinin performans üzerindeki etkisinin tespitine yardımcı olur.

Antropometri giysinin insan üzerindeki duruş biçimine, fiziksel dayanıklılık ile birlikte, bireylerin iş boyunca karşılaşılabileceği kısmi zorluklarda doğrudan etkilidir. Fizyolojik olarak, metabolik ısı oluşumu oranı ve terleme derecesi genellikle aynı görevi gerçekleştiren bireyler arasında önemli ölçüde değişebilir. Motivasyon iş yapma oranı ve devamlılığı ile birlikte hareket tercihlerini de etkiler [47].

1.5.3.1.4. Çevresel koşullar

Çalışma alanı sınırlı olabilir ve yakın çevredeki hareketlilik, efektif antropometrinin yükselmesiyle sıkıntı meydana gelebilir. Yani, koruyucu bir takımın dışı kısmı üzerinden ölçülen işçi boyutları kısıtlanmış olabilir. Ortamdaki radyant, iletken ve konvektif ısı enerjisi işçi üzerindeki ek ısı yükünü etkileyebilir ve metabolik ısı transferi kaybını engelleyebilir. Yüksek nemlilik terin buharlaşmasını da önleyebilir.

Giysi özellikleri, iş gereksinimleri ve işçi karakteristiği giysi formundaki ve harekete eşlik eden pozisyonadaki değişiklikleri de belirlemektedir. Termal denge ve giysi formunda değişiklik sağlama prosesleri; hareket kabiliyeti, fizyolojik denge ve algısal geri bildirim üzerinde anlık etkiye sebep olmaktadır. Bu anlık etkiler düşük verimlilik, fizyolojik zorlanma ve azalan konforun net etkilerine dönüşebilir [47].

(a) Anlık Etkiler

Giysi özellikleri, iş gereksinimleri, çevresel koşullar ve işçi karakteristiklerinin her biri direkt olarak koruyucu giyside üç tip anlık etkiye sebep olmaktadır. Öncelikle hareket bozulabilmekte, ayrıca yarı çıplak bir çalışma koşulu ile karşılaştırıldığında, kas egzersiz gereksinimleri artabilirken hareket hızı, dikkat ve hareket alanı azalabilmektedir. Öte yandan, görsel ve işitsel geri bildirim alma yeteneği de bozulabilmektedir. İkinci olarak, fizyolojik tepkiler kalp atış hızı, kan basıncı, vücut yüzey ve çekirdek sıcaklıkları, oksijen alımı ve enerji harcanması ile yorgunluk arttıkça, meydana gelebilmektedir. Üçüncü olarak, giyen kişi termal rahatsızlık, ciltte ıslaklık, sürtünme, bölgesel basınç ve kısıtlama gibi rahatsızlık hissi yaşayabilmektedir. Ayrıca, anlık etkiler bilinecek olursa, net etkilerin tahmin edilmesi mümkün olabilir [47].

(b) Net Etkiler

Nihai olarak, anlık etkiler verimliliğin düşmesine, fizyolojik baskının artmasına ve konforun azalmasına öncülük edebilir. Verimlilik etkileri operatör hataları da dâhil olmak üzere uzun görev tamamlama süreleri, yavaş çalışma oranları ve kötü ürün veya

hizmet kalitesini, içerebilir. Fizyolojik baskı çoğu zaman çalışma zamanını ve oranını kısıtlayabilir. Sağlık ve güvenlik uğruna, koruyucu giysi kullananlar sık sık uygulanan çalışma-dinlenme sürelerine sahiptir ve vücut ısısı, kalp atış hızı, kan basıncı ve yorgunluk üzerine fizyolojik kısıtlamalar nedeniyle görev tamamlanmadan önce çalışma yarıda bırakılabilir. Sonuçta, rahatsızlık hissi konforsuzluğa sebep olur [47].

Huck et al. [136], koruyucu tulum üretiminde giysi tasarımı ve formunun değerlendirilmesine ilişkin gerçekleştirdikleri bir çalışmada, diğer giysi bölgelerindeki rahatlık kontrol altındayken, farklı giysi bölgelerinde ek kasık rahatlığı sağlayan ve belirli bir giysi bölgesindeki rahatsızlık etkisini izole edebilen alternatif genel tasarımlara bir ön bakış oluşturmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada en az kullanıcı uyumu kadar, tasarım özelliklerinin ve genel koruyucu özelliklerin uyumunun değerlendirilmesi için kullanılabilen bir yöntem araştırılmıştır. Üzerinde çalıştıkları bu yöntem tasarımcı ve üreticilere, kullanıcıya maksimum konfor ve hareket kabiliyeti sağlamak için koruyucu giysi içerisine dâhil edilmesi gereken giysi konfor miktarı üzerine bilgi verebilmekte ve giysi uyumunun dinamik unsurlarının, yani bir giysi bölgesindeki konforun harekete geçmesinin diğer giysi bölgelerinin uyumunu nasıl etkileyebileceğinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, kullanıcı hareketliliğinin farklı unsurlarının tasarım değişikliklerine nasıl etkiyebileceğine bakılarak dinamik doğal duruş ta değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem, koruyucu giysilerin diğer tiplerinin değerlendirmesinde ve kullanıcı hareketliliği üzerinde bu tasarım özelliklerinin sahip olacağı etki kadar, giysilerin uyum ve tasarım özelliklerinin objektif değerlendirmesinde de araştırmacılara bir yol sunulmasında kullanılmaktadır [136].

1.5.3.2. Koruyucu Giysi ve İtfaiyeci Giysi Konforu Üzerine Yapılan Çalışmalar

Koruma ve konfor arasındaki ilişkinin önemi koruyucu itfaiyeci giysilerinde kendisini daha belirgin şekilde ön plana çıkarmaktadır. Ynağın söndürme aktiviteleri süresince, dış taraftaki su buharı baskısı ve sıcaklık genellikle vücuda yakın olan yerlerden daha yüksektir. Öte yandan, itfaiyecilerin görev esnasında gerçekleştirdikleri performans vücutlarının 300 – 500 W aralığında metabolik ısı üretimine öncülük eder. 20 dakikadan yüksek görev süresince ter üretimi belki de 1 litreyi bulabilir. Sıcaklık ve su buharı basıncı dereceleri bu koşullarda vücut doğrultusunda yönlendirilirken, vücut bu ısıyı ve

nemi yaymayı gerçekleştiremeyecektir. Bu da aşırı ısınmayı ve sıcaklık baskısını hızlı biçimde tetikleyecektir. Salınan ter kumaş katmanları tarafından absorplanmak zorunda kalacaktır. Ek olarak, yağmur veya yangın hortumları gibi dış kaynaklardan oluşacak nem giysi tarafından kısmen absorbe edilebilir. Giysi içerisindeki bu nem giysinin ısı kapasitesi ve termal iletkenliği değişiyorken, ısı transferi üzerinde farklı etkilere sahip olacaktır. Giysideki sıcaklık arttığında, mevcut nem buharlaşabilecek ve buhar yaralanmalarına öncülük edebilecektir [137].

Giysi konforu açısından değerlendirildiğinde, koruyucu giysi sisteminin her türlü çalışma koşulunda yapılan işte çalışana rahatsızlık vermeyecek ve yaptığı işi aksatmayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, hem koruyucu, hem de katmanlı giysilerde başta termal konfor olmak üzere giysi konforu önemi daha da artmaktadır. Literatürde bu konular üzere odaklanılmış birçok çalışma mevcut olup, bunların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Lee ve Barker [138] ortam neminin yüksek ısıya dayanıklı kumaşların (PBI, aramid ve PBI karışımı aramid veya güç tutuşur rayon kumaşlar) termal koruyuculuk performansı (TPP) üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, indükatörde kurutulmuş, standart atmosferik koşullarda kondüsyonlanmış ve su ile ıslatılmış üç ayrı kumaşı yüksek derecede radyant ve konvektif ısıya maruz bırakarak değerlendirmede bulunmuşlardır. Deneysel çalışma sonucu elde edilen veriler nemin termal koruyuculuk performansını düşürdüğünü ortaya koymuştur [138].

Branson et al. [139], zehirli kimyasallara karşı koruyucu giysi prototiplerinin termal davranışına ilişkin yürüttükleri çalışmalarında; kimyasal koruma özelliğine sahip üç ayrı kumaş tasarımı gerçekleştirerek, bu kumaşların sıcak havanın simüle edildiği bir ortamda termal konfor özelliklerini ve kimyasal koruyuculuğunu incelemişlerdir [139].

Nunneley [48] koruyucu giysilerde sıcaklık baskısı ve fiziksel ve fizyolojik faktörler arasındaki etkileşim üzerine gerçekleştirdiği çalışmada, insanlar ve hayvanlar üzerindeki deney verilerini, çalışma, giysi ve çevre olmak üzere üç ana faktörün çeşitli birleşimlerine karşı vücudun tepkisini tahminle yeni bir bilgisayar modellemesi geliştirerek desteklemiştir. Ancak, güncel uygulamaların bazı modelleri göstermiştir ki; temel sıcaklık baskı faktörlerini ve bazı fizyolojik değişkenlerini kapsayan etkileşimleri daha doğrucu sunma ihtiyacı, çıktıların geçerliliğini sınırlamaktadır. Koruyucu malzemelerin sertliği ve ağırlığının yapılan işin metabolik etkisini yükseltmesi, giysiyi

ıslatan ve onun ısı transfer karakteristiklerini değiştiren bol miktarda terleme, yapılan içe ilişkin hareketlerin giysi boyunca hava değişim oranını değiştirmesi, başlı başına aerobik kapasitenin metabolik bir yük vermesi için termoreglator tepkiyi etkilemesi ve giyside tutulan terin cilt ıslaklığını yükseltmesi ve ter baskısına sebep olabilmesi gibi bazı etkileşimler buna örnek verilmektedir. Ayrıca, bu alanlar üzerindeki güncel araştırmalar incelenmiş ve daha fazla verinin ihtiyaç duyulduğu bazı alanlar tanımlanmıştır [48].

Weder et al. [140], gerçek koşullar altında ısı ve nem transferinin simüle edilmesine olanak tanıyan; EMPA (Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research, Switzerland) geliştirilmiş bir terleyen kol ile koruyucu giysinin termal ve su buharı direncini etkileyen farklı parametreler (sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, farklı genişliklerdeki kollar ve kol hareketi v.s.) arasındaki etkileşimi analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, hava tabakasının termal yalıtımı 5 – 50 kez arasında koruyucu giysi malzemesinden daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca geniş kollar, dar kollara oranla ortalama %30 daha yüksek termal yalıtım sağlamış olsa da su buharı direnci daha düşük çıkmıştır [140].

Zimmerli ve Weder [141] kişisel koruyucu donanımın koruyuculuk ve konfor özelliklerinin eş zamanlı ölçümü için terleyen bir insan gövde yapısı tasarlamışlar ve bu yapı üzerine ısıya karşı koruyucu bir giysi giydirilerek, çevresel ısı kaynağına maruz bırakılmıştır. Tasarlanan bu yapı insan vücuduna mümkün olduğunca yakın termal özellikler göstermektedir. Soğuğa karşı koruyuculuk ölçümleri ve farklı uyku tulumlarının konfor özelliklerinin sunulduğu bu çalışma sonucunda, termal yalıtım gibi soğuğa karşı koruyuculuk terin buharlaşmasından önemli derecede etkilenmiştir [141].

Sun et al. [142], itfaiyeci giysisinde kullanılan kumaşların radyant koruyucu ve transfer özellikleri hakkında yürüttükleri çalışmada, aramid, modakrilik, polyamid ve güç tutuşur pamuk liflerinden üretilme kumaşların; radyant koruyucu performansını, termal direncini, hava geçirgenliğini ve nem salınımı özelliklerini incelemişlerdir. İtfaiyeci üniforması için en uygun kumaşları seçmek amacıyla; kumaş yapıları ve hem radyant, hem de transfer özellikleri arasındaki ilişki hakkında bilgi edinmeyi amaçlamışlardır. Gerçekleştirilen deneyler sonucu, tek katlı kumaşların radyal koruyucu performansının termal koruyuculuk performansı ile tutarlı biçimde; kumaş yapısından, ağırlığından, kalınlığından ve kullanılan materyalin özelliklerinden etkilendiği ortaya çıkmıştır.

Ayrıca, konfor performansı ile yakından alakalı kumaş transfer özellikleri, aynı yapısal parametrelerle yönetilen; hava geçirgenliği, termal direnç ve nem alımı gibi faktörlerin kombinasyonu tarafından yansiyabileceği sonucu ortaya çıkmıştır [142].

Yoo ve Barker [143] ıslanabilirlik testi kullanarak seçilmiş bir grup ısıya karşı dirençli işçi tulumu kumaşlarının sıvı nem transferi özelliklerini incelemişlerdir. Yürüttükleri bu çalışmada, beş farklı ısıya karşı dirençli işçi tulumu kumaşının; emilim kapasitesi, emilimin anlık hızı ve buharlaşma/emilim oranı incelenerek değerlendirilmiştir. İşçi tulumu kumaşlarındaki kılcallık bitim işlemleri ve higroskopik liflerinin etkisinin değerlendirilmesi için, Gravimetrik Absorpsiyon Test Sistemi (GATS) prosedürleri düzenlenmiş ve geliştirilmiştir. Basit dikey kılcallık yöntemiyle ölçümünden farklı olarak, bu çalışma için benimsenen prosedür, tekstil malzemesinin kullanıcı konforu ve nem yönetimi karakteristikleri için aydınlatıcı sonuçlar üretmiştir [143].

Richards ve McCullough [135] yürüttükleri bir çalışmada, EMPA (Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research, Switzerland) tarafından geliştirilen terleme yeteneğine sahip termal bir manken kullanarak beş katlı giysi topluluğunun buharlaştırma direncinin ölçümünü gerçekleştirmişler ve elde ettikleri değerleri termal mankenden aldıkları değerlerle kombine ederek bu konuyla ilgili gerekli standardizasyonların ve metodolojilerin geliştirilmesine yönelik yaklaşımları sunmuşlardır [135].

Matuisak [127] tek ve çok katmanlı kumaşların termal yalıtım özelliklerinin araştırılmasına ilişkin gerçekleştirdiği çalışmasında, kumaşların termal özellikleri Alambeta cihazında ölçmüştür. Yapılan inceleme sonucu kumaşların termal yalıtım karakteristiklerinin; hava sıcaklığı, hareketi ve ortamdaki nem gibi çevresel parametrelerden ve bunun yanı sıra kumaşların ihtiva ettiği lif ve lif bileşimlerinin özelliklerinden, kumaşların mikro ve makro yapılarından direkt olarak etkilendiği ortaya çıkmıştır. Giysinin cilt ve onun etrafında oluşturduğu bariyerin sadece sıcaklık değişiminden değil, aynı zamanda buharlaşan terin meydana getirdiği ısı değişiminden de etkilendiği ön plana çıkmıştır [127].

Lee et al. [144], nicel olarak giysi mikroklimasının hava hacmini ölçmek için üç boyutlu tarama araçlarından biri olan faz değiştiren moire' topografisini kullanmışlardır. Yaptıkları bu çalışmayla, temassız bir görüntü tarama teknolojisini kullanmak (faz değiştiren hare topografisi), üç boyutlu uzayda iki boyutlu kumaşın yeni şartlar

oluşturduğu giyinme durumundaki katmanlı giysi sistemlerinin yalıtım değeri ve hava hacmi arasındaki ilişkiyi anlamayı amaçlamışlardır. Katmanlı bir giysi sistemi olarak tişört üstüne giyilen giysi topluluğunun yalıtımı için termal bir manken kullanılmıştır. Deney sonucunda örnek bedenindeki artışın, giysi sisteminin yalıtımını yükselttiği görülmüştür. Ancak, belli bir limitin ötesinde, manken üzerinde tamamlanmamış kısımlara yelek giydirildiğinde daha fazla açığa çıkan konveksiyon ve havalandırmadan dolayı yalıtım düşmeye başlamıştır [144].

Mao ve Russell [145] spacer kumaşların termal yalıtım özelliklerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, üretilen spacer kumaşın bir yüzüne, oradaki boşlukları kısmen kapatmak amacıyla; alışılmışın dışında mekaniksel bir uygulama olan hydroentangling teknolojisini kullanarak yün ağla kaplamışlardır. Geleneksel homojen kumaşlarla karşılaştırıldığında; bu uygulama ile üretilen yapı, yüzeydeki geniş açıklıkların tıkanmasından dolayı spacer kumaş kesitindeki hava tutuculuğunun yükselmesine katkı sağlamış ve böylece, kumaş sıklığında çok az değişiklik olmasına rağmen, termal iletkenliği önemli derecede düşürmüştür [145].

Li et al. [146], malzeme bileşenleri ve tasarım özelliklerinin bir itfaiyeci giysisinin ısı transferine etkilerini, terleyen bir manken üzerinde incelemişlerdir. İtfaiyeci giysi sistemi içerisinde kullanıcıdan çevreye ısı değişimi etkinliği, malzeme bileşenleri ve tasarım özelliklerinin ısı transferi üzerinde oluşturduğu etkilerin ölçümleri tamamen iklimatik bir çember içerisinde hesaplanmıştır. Boyun, bilekler, bel ve ayaklar açık ve delikli veya deliksiz halde olmak üzere iki durum altında, materyal bileşeni ve tasarım özelliklerine göre farklılaşan; termal yalıtım (It) ve nem geçirgenliği indeksi (im) ölçümleri yapılmıştır. İtfaiyeci giysisinin ısı ve nem transferi kapasitesini ölçmek amacıyla, delikli ve deliksiz açıklıklar ile olağan şekilde giyilmiş giysi koşullarında; It ve im oranlarındaki değişimi tanımlayan iki yeni gösterge (CIt ve Cim) sunulmuştur. Deneyler sonucu, Cim büyük oranda malzeme özelliklerine (nem geçirgenliği) bağlı kalırken, CIt 'nin ise giysi boyunca ısı transferindeki giysi tasarım farklılıklarının etkilerini gösterdiği ortaya çıkmıştır [146].

Guo et al. [147], kumaş nem transfer özelliklerinin koruyucu giysiyi giyen kişi üzerindeki fizyolojik etkilerine ilişkin yürüttükleri çalışmalarında, 10 sağlıklı deneğe iki ayrı koruyucu donanım giydirilmiş, daha sonra bu kişiler farklı ortamlarda çalıştırılarak değerlendirmelerde bulunulmuştur. Birinci koruyucu giysi donanımında pamuk iç

çamaşırı ve %100 polietilen dış giysi kullanılmışken, ikinci donanıda ise nem yönetim fonksiyonu olan pamuklu bir iç çamaşırı ve su geçirmez yapıda nefes alabilir bir dış giysisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, ikinci tür koruyucu giysi donanımında tek yön transfer kapasitesi, sıvı nem yönetim kapasitesi ve ıslanma süresi bakımından ilkinin göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla, ikinci koruyucu giysi donanımında, derin kulak kanalı sıcaklığı, ortalama deri sıcaklığı, göğüs kafesi deri ve giysi mikrokliması (sıcaklık ve nem), birinci koruyucu giysi donanımına göre oldukça düşük çıkmıştır. Nihayetinde, ikinci koruyucu giysi donanımının sıcaklık baskısını ilkinin göre çok daha düşük seviyelere indirdiği tespit edilmiştir [147].

Keiser et al. [148], çok katlı koruyucu giysi kumaşlarındaki nem geçişi ve absorpsiyonun incelenmesine ilişkin çalışmalarında, koruyucu itfaiyeci giysisinin nem dağılımını terleyen bir gövde yapısı üzerinde analiz etmişlerdir. Terlemenin birinci saati sonrasında kumaş katmanlarından sadece %35 nem buharlaşırken, sonraki bir saatlik kuruma sürecinde giysi içerisinde yaklaşık olarak %10 civarında nem kalmıştır. Beş ve altı katmanlı giysi sisteminin ortadan en üst üç katmanında %75' in üzerinde nem birikmiştir. Böylece, farklı giysi katmanlarının nem geçişi özelliklerinin etkileşiminin, nem dağılımı için ne kadar önemli olduğu kanıtlanmıştır [148].

Cui ve Zhang [149] itfaiyeci giysisinin malzeme topluluğunun nem ve termal koruyuculuk performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, termal koruyuculuk performansı (*TPP*) ve su buharı geçirgenliği hızı/oranı (*WVTR*) 16 ayrı topluluk için ölçülmüştür. Giysinin en dışında sıcaklığa karşı dirençli kumaş kullanılmışken; nem bariyeri, topluluğun *TPP* oranı üzerinde anlamlı bir etki göstermiştir. Nem bariyeri toplulukların su buharı geçirgenlik oranı üzerinde de güçlü bir etkiye sahipken, üç katlı topluluğun *WVTR*' si tek katlı kumaştan oldukça düşük çıkmıştır. Aynı zamanda, her katın düşük nem geçirgenliğinin giysi sisteminin düşük *WVTR*' si ne de öncülük ettiği ön plana çıkmıştır [149].

Güney ve Üçgül [150] farklı materyallerden ve tabakalardan oluşan koruyucu giysiler içindeki nefes alabilir membranların termal yalıtım özelliklerini değerlendirmek amacıyla Alembeta cihazı kullanarak deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, nefes alabilir ve gözenekli membran yapılarının ısı ve buhar geçişine imkân sağlayarak termal konforu artırmada etkili olabileceğini göstermiştir [150].

Zhiying et al. [151], koruyucu itfaiye giysisinin termal koruyuculuğunu ve nem geçirgenliğini ve materyal kombinasyonunun bu özellikler üzerine ne derece etkin olduğunu araştırmak için, üç katlı koruyucu itfaiye giysi sistemini simüle eden sekiz farklı malzeme kombinasyonu üzerine incelemede bulunmuşlardır. Kombinasyonların, termal koruyuculuk performansları (*TPP*) ve su buharı geçirgenliği oranları test edilmiştir. Deney verileri, geniş çapta varyans analizleri ile değerlendirilmiştir. Bu arada, her bir katın giysi performansına etkisi de incelenmiştir. Deney sonuçları, dış katman kumaşın ve nem bariyeri katmanının *TPP* ve nem geçirgenliği üzerinde ayrı ayrı her birinin kayda değer bir etki oluşturduğunu göstermiştir [151].

Wang et al. [152], itfaiyeci giysisindeki çok katmanlı kumaş sisteminin nem transfer özelliğinin değerlendirilmesine ilişkin çalışmalarında, bir dış kabuk, nem bariyeri, termal bariyer ve konfor astarını içeren bir itfaiyeci giysisinde kullandıkları çok katlı kumaş sisteminde her bir bileşenin su buharı geçirgenliğini ve bu dört katmanlı kumaş topluluğunun toplam su buharı geçirgenliğini ölçmüşlerdir [152].

Li et al. [153], hava boşluğuyla birlikte bağıl nemin ani yangına maruz kalan güç tutuşur kumaşların ısı transferi üzerindeki etkisi konulu çalışmalarında, yakın zamanda modifiye edilmiş termal koruyuculuk performansı test aparatlarını kullanmışlardır. Deneylerde, 3'er mm artış ile 0 – 24 mm arası hava boşluğu yükseklikleriyle çalışılmıştır. Sırasıyla, farklı bağıl nem değerlerinde üç tane mikroklima önceden hazırlanmıştır. Sonuçlar, çeşitli hava boşluklarında, mikroklimalardaki farklı bağıl nem değerlerinin kumaşların termal koruyuculuğunu anlamlı ölçüde geliştirdiğini göstermiştir. Havadaki buharın artmasından dolayı, küçük boyuttaki hava boşluklarının, kumaşların termal koruyuculuk performansı üzerindeki pozitif etkisi artmıştır. Ancak, büyük boyuttaki hava boşluklarının pozitif etkisine bağıl nem engel olmuştur [153].

Tronikov et al. [154], yapısal itfaiyeci giysisi için uygun iç katman kumaşların yüzey karakteristiklerinin hesaplanmasına ilişkin çalışmalarında, pratik giyim ve giysi bakımıyla ilgili olarak; kumaş bileşimlerinin, yapılarının ve yüzey özelliklerindeki fiziksel parametrelerinin etkilerini nicel olarak incelemişlerdir. Ek olarak, faal fiziksel aktivite boyunca ter absorpsiyonundan dolayı, kumaşların ihtiva ettiği nemin yüzey karakteristiklerine etkisi üzerinde durulmuştur [154].

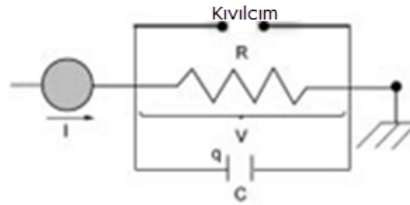
1.6. Tekstil Materyallerinde Elektrostatik Koruyuculuk

Statik elektriklenme genel anlamda, maddenin herhangi bir diğer maddeyle teması, yaklaşması veya o maddeden ayrılması sonucu kararlı haldeki elektron yapılarında değişiklikler meydana gelmesi ve bir yük değişimi ortaya çıkması olarak adlandırılır. Böylece, maddeler elektrostatik açıdan yüklenmiş olurlar, yani bir statik elektriklenme meydana gelir. Bu olay özellikle tribo-elektriklenme denilen, sürtünme vasıtasıyla gerçekleşmektedir [155].

Tekstil ürünleri için, “elektrostatik” veya “statik elektriklenme” terimi, lifin ve neticede kumaşın yüzeyinde nem içeriği ve sürtünmeye bağlı olarak bir birikim oluşturacak şekilde havadan elektrik yüklerini çekme ve tutma kabiliyetidir. Elektrik, kumaşın kendi kendine ya da bir başka kumaş ya da cisme sürtünmesi ile oluşturulur. Statik elektriklenme, hem kullanım hem de çalışma karakteristiğidir. Statik elektrik yükü, elyafın dolayısı ile kumaşın işlenmesini zorlaştırır, kumaş hatalarına neden olurlar. Konfeksiyon halinde ise elektrik yükü atlaması ile çarpmaya, giysinin bir birine yapışmasına ya da giyene yapışmasına neden olurlar. Havadaki toz ve kirleri çekerler. Statik elektrik nispeten iletken olmayan maddelerin moleküler konfigürasyon dengesinin bozulması yoluyla oluşturulur. Yıllar önce statik yüklerden kaynaklanan problemler, yüksek nemli ortamlardaki doğal lifler ile nispeten küçük seviyedeydi, ancak hidrofobik yapıya sahip sentetik elyafların üretilmeye başlanması ve bu üretimin atmosferik kontrollü ortamlarda, yüksek hızda gerçekleştirilmesi ve üretimde elektrige duyarlı cihazların kullanılmasıyla birlikte gittikçe ciddiyet kazanmaya başlamıştır. Bazı elyaf tipleri doğalarından statiktir. Hidrofob kumaşlar (asetat ve rayon dışındaki insan yapısı), çok az nem içerdikleri için hidrofil (bitkisel ve hayvansal) kumaşlardan daha fazla statik elektriklenmeye meyillidirler. Yün ve pamuk gibi doğal elyaflar tamamen kuru olduklarında bile iletkenlikleri çok zayıftır, ancak büyük ölçüde nem absorpladıklarından dolayı, yüksek nemli ortamlarda iletkenlikleri artmaktadır. Öte yandan, birçok insan yapımı lif %60’dan fazla bağıl nemin bulunduğu ortamlarda dahi çok az ya da hiç nem absorplamazlar ve iletkenlikleri zayıf kalır. Statik elektriklenmeyle ilgili temel endişe, bazı endüstriyel ortamlarda açığa çıkabilecek alev alma kaynağı yanıcı gazlar, buharlar veya tozların meydana getirebileceği ve hayati kayıplara sebep olabilecek yangın ve patlamalara neden olma ihtimali yüksek olan elektrik boşalmaları (ESD)’dır [156].

1.6.1. Elektrostatik İlkeleri

Birbirinden ayrılmış yüzeylerin hemen hepsinde statik elektrik oluşturmaktadır. Bir yüzeyden diğerine transfer edilen elektriksel yük miktarı, belirli bir polarite yük miktarı için; malzemelerin bağl afinitelerine göre değişmektedir [157]. Asimetrik sürtünme veya sıcaklık farklı ile aynı malzemeden iki yalıtkan arasındaki statik elektrikleştirme arttırılmaktadır [158]. Bir kıvılcım olgusunu içeren statik yük, sık sık giysi üzerinde ya da tek başına ayağa giyilen materyaller üzerinde oluşturulur ve cilt üzerine transfer edilir. Dolayısıyla, giysi ve ayakkabı yük karakteristikleri yanıcı gazları ateşleyebilen bir kıvılcım üretme olasılığını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır [159]. Bir elektrostatik sistem Şekil 1.27' deki gibi basit bir devre ile tasvir edilebilir.



Şekil 1.27. Elektrostatik bir sistemin gösterimi [156].

Bu devre, yük oluşum mekanizmasını göstermek için bir yük jeneratörü I , yükün depolandığı bir kapasitör C , elektriksel baskılı yalıtkan içerisindeki şarj gevşeme mekanizmasını gösteren bir direnç R ve sistemde tutulabilir maksimum yükü sınırlayan bir kıvılcım boşluğu olmak üzere dört unsurdan oluşmaktadır.

Sistem direnci dağıtım için yük sağlarken sistem kapasitansı üzerinde yük depolama meydana gelir. Burada, kondansatör yalıtkan bir malzeme veya gerektiği gibi topraklanmamış bir insan olabilir. Kapasitans ve direnç büyüklüğü sistemdeki yükün ayrışma süresini (t_{dec}) tespit eder (Denklem 1.17):

$$t_{dec} = RC \quad (1.17)$$

burada, R (ohm) direnç ve C (F) ise iletkenlik kapasitesidir [156].

1.6.2. Yük Oluşumu

Elektrik iletkenliği zayıf (yalıtkanlar) materyaller olan çoğu tekstiller ve polimerlerin elektriksel yük oluşturmaları oldukça karmaşıktır. Ancak genellikle aditifler, apre

malzemeleri, kir ve nemi barındıran tekstil yüzeyleri iyon bulundurma bakımından oldukça zenginlerdir [160]. Bu durumda, elektriksel yük oluşturma; elektronları, iyonları ve malzemelerin yüklü parçacıklarını veya bunların kombinasyonlarını kapsayabilir [161]. Onlar da temas oluşmadan önce yüzeylerin iyonik popülasyonu hakkında az da olsa bilgi sağlayabilir, ancak transfer edilen elektriksel yükün büyüklüğünü tahmin etmek mümkün olmayabilir [156].

1.6.3. Çevresel Koşulların Tekstil Ürünlerinin Elektriksel Özelliklerine Etkisi

Lifler absorpladıkları nem miktarı açısından farklılıklar göstermektedir. Birçok lif içerisinde ihtiva ettiği nemi havadan absorplamaktadır. Havadaki bağıl nem (RH) miktarı yükselirken, absorplanacak nem miktarı da genellikle artmaktadır. Liflerin içerdiği nem miktarı onların elektriksel özelliklerini önemli derecede etkilemektedir [114].

Çevresel koşulların tekstil materyallerinin elektriksel özelliklerine etkisini konu edinen çok sayıda araştırma mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Hearle [162], nemin liflerin elektriksel direncinin tespitinde en önemli faktör olduğunu belirtmiştir [162].

Crugnola ve Robinson [163], farklı bağıl nem seviyelerinde değişik giysi sistemlerini değerlendirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, % 20 bağıl nemin aşağısındaki değerlerde tüm giysilerin yüksek voltaj oluşturdıkları görülmüştür [163].

Sereda ve Feldman [164], yüzey ve su boyunca iletkenlik ve/veya elektriksel yük yayılımındaki yükselişten kaynaklanan yüksek nemde yük oluşumundaki hızlı düşüşü açıklamışlardır [164].

Onogi et al. [165], tekstil yüzeylerinden su damlacıklarının buharlaşması boyunca su molekülleri vasıtasıyla hava içerisindeki atmosferik elektriksel yük dağılımının statik yük azalışıyla sonuçlandığını belirlemişlerdir. Üstelik atmosferik elektriksel yük dağılımı için sabit hızın tekstil materyalinin nem içeriğine bağlı olduğunu anlatmışlardır [165].

Onogi et al. [166], hem ortam havasında hem de liflerdeki sıcaklık ve nem içeriğinin etkileşim etkilerini ve bu etkileşimlerin tekstil yüzeyinden statik dağılımına olan etkisine ilişkin araştırma yapmışlardır. Elde ettikleri test sonuçları, elektriksel yük

dağılımının sabit hızının sadece kumaşların içerdiği nem miktarına bağlı olmadığını, aynı zamanda suyun buhar basıncına da (mutlak nem) bağlı olduğunu ortaya koymuştur [166].

Rizvi et al. [167], ortamdaki bağıl nem 0' dan %20' ye çıktığında bazı giysi sistemleriyle, deşarj potansiyelleri ve enerjilerinin ortalama % 50 oranında düşüş gösterdiğini tespit etmişlerdir [167].

1.6.4. Elektrostatik Tehlikeler

Statik elektriklenme daha önce de bahsedildiği gibi, yanıcı veya patlayıcı sıvı, gaz, toz ve katıların ateşlenmesine sebep olabilmekte ve önemli ölçüde hayati tehlikelere yol açabilmektedir [168, 169]. Maddelerin, nesnelerin veya canlıların etkileşimleri sonucu oluşacak yük transferi esnasında, korona, kıvılcım (ark) ve fırça tipi şeklinde yük boşalmaları (deşarj) gerçekleşmektedir [155]. Standart koşullar dâhilinde (76 cmHg basınç ve 25°C sıcaklık) delinme gerilimi en az 29.8 kV/cm olan kuru havanın nemli ve yağışlı havalarda dayanma gerilimi düştüğü için bu değer aşılmakta ve elektriksel alan içerisindeki elektron hızlanarak enerji kazanır ve havayı iyonize eder. Hava, enerji hatlarındaki faz iletkenlerinin yüzeyinde iyonize olduğu takdirde mor renkte halkalar şeklinde ışıklar ortaya çıkmaktadır. Böylece, temeli elektriksel alana dayanan “*korona olayı*” gerçekleşmektedir. Üzerinden akım geçen iletken yüzeyinde oluşacak elektriksel alan etrafındaki yanıcı gazın dayanma gerilimini aşarsa “korona boşalması” denilen kısa süreli deşarjlar oluşturacaktır [170]. Fırça tipi boşalma olayı genellikle iletkenin tüm çevresinde görülmekle birlikte, boşalma uzunluğu düşük gerilimde 2,5 cm, yüksek gerilimde ise 5 cm kadardır [171]. Özellikle bunlar arasında kıvılcım (ark) şeklinde gerçekleşecek yük boşalmasında, kıvılcımın sahip olduğu enerji seviyesi; sıvı buharı, gaz ve tozların bulunduğu ortamlarda patlama meydana getirme riski vardır [155].

Düşük potansiyel kaçağında nesne ve iletken arasındaki hava boşluğu direnci seviyesine ulaştığında elektriksel yük oluşmakta ve bu da kıvılcım üretmektedir [168, 169].

Bu sebeple oluşabilecek patlama riski aşağıdaki ortam şartları dâhilinde yüksek potansiyele sahiptir [155]:

- Meydana gelen kıvılcım, sıvı buharı, gaz ve tozları Parlama Noktası' nın üzerinde bir değere çıkarabilirse,
- Malzemenin tutuşabilmesi için gerekli en düşük enerjisi seviyesi olan Minimum Tutuşma Enerjisi (MIE)' nin üzerinde bir enerjiye sahipse,

- Ortamdaki sıvı buharı, gaz ve toz hava içerisinde alt yanma/patlama sınırı ile üst yanma/patlama sınırları arasındaysa ve
- Ortamdaki oksijen miktarı hava içerisinde genel bir kabul olarak, % 16' nın üzerinde bir değere sahipse [155].

Çevrede elektrostatik yük boşalma tehlikesi mevcut ise, bu tehlikenin ortadan kaldırılması için;

- ✓ Metallerin topraklanması,
- ✓ İnsanların kontrol edilmesi,
- ✓ Eşpotansiyel uygulanması,
- ✓ Ortamdaki havanın nemlendirilmesi,
- ✓ Ortam havasının inertleştirilmesi gibi yöntemler uygulanabilir [155].

1.6.5. Elektrostatik Yük Boşalması (ESD)

Statik elektrik elektrostatik yük boşalması yoluyla yıkıcı doğasını göstermektedir. Elektrostatik insanlar veya malzemeler üzerinde, özellikle kuru koşullarda tekstiller gibi iletken olmayan materyaller üzerinde oluşmaktadır. Petrol ve gaz endüstrisinde çalışan işçiler giymeleri gerektiği bazı termal koruyucu giysilerin statik eğilimlerinden dolayı yeterli düzeyde güvenli bulmadıklarını dile getirmişlerdir. Hatta bazıları hala, %100 pamuktan üretilme giysilerin termal koruyuculuk özelliğine sahip liflerden üretilme giysilere nazaran daha az statik elektriklenme eğilimine sahip olduğu kanısındadır. Bu inanç yüksek bağıl nem koşulları altında alınan bazı elektriksel özelliklerin ölçümlerine dayanmaktadır ve düşük nemli ortamlarda yanıltıcı olabilir. Topraklanmamış bir yalıtkan (insan vücudu ya da ayrık iletken kumaş) ve bir yalıtkan (sentetik lifler ve plastikler) üzerindeki elektriksel yük birikimi oldukça farklı iki durumdur. Topraklanmamış bir yalıtkan (insan vücudu ya da ayrık iletken kumaş) üzerindeki elektriksel yük birikimi en büyük riski oluşturmaktadır. Çünkü bir kıvılcım şeklinde hemen hemen tüm elektrostatik enerjiyi deşarj edebilir. Bununla birlikte, yüksek yüzey ve hacim direnci deşarj noktasındaki yükün akışını engeller ve yüzey üzerindeki toplam yükün bir kısmı serbest bırakılır [156].

1.6.6. Minimum Tutuşma Enerjisi (*MIE*)

Bir gazın, buharın veya tozun tutuşma enerjisi yanıcı malzeme yüzdesine güçlü biçimde bağlıdır. Düşük konsantrasyonlarda tutuşma enerjisi yüksektir, ancak tekrar yükselmeden konsantrasyonu artırmadan önce kritik bir konsantrasyonda minimuma düşer. Minimum tutuşma enerjisi (*MIE*), malzemenin tutuşması için gerekli en düşük enerji ya da onun hava ile kritik bir konsantrasyonda karışımı olarak bilinir [156].

Yanıcı gazların tutuşması için gerekli enerjiyi ölçen standart bir yöntem yoktur. Genellikle, içerisinde bir elektrod ihtiva eden topraklanmış esnek cam bir kutunun içerisine bilinen bir gaz ile hava karışımı yerleştirilmektedir. Yük elektrot boyunca ya yüklü bir insandan ya da bir kapasitörden boşaltılmaktadır [156].

Wilson [172] yaptığı çalışmada, tutuşmanın meydana geldiği yerde kritik gerilimin elektrot boyutunun 1mm' nin altında düştüğünü ve daha sonra korona boşalmasından dolayı en küçük elektrot boyutu ile tekrar yükseldiğini ve tutuşma için en düşük voltajın vücut kapasitansından bağımsız olduğunu belirtmiştir [172].

Elektrostatik açıdan yüklü insan bedeninde tutuşma riskinin değerlendirilmesi özellikle, yanıcı atmosferin minimum tutuşma enerjisiyle vücuttan herhangi bir boşalmanın tutuşturma gücünün karşılaştırmasını gerekli kılmaktadır [173, 174].

Rizvi ve Smy [175], yanmaya sebep olan ve olmayan kıvılcımların minimum enerji yoğunluğunun eşik değerlerinin sırasıyla, 10 J/m² ve 0.25 J/m² olduğunu bulmuşlardır [175].

1.6.7. Tekstil Materyallerinin Elektrostatik Ölçüm Teknikleri

Tekstil materyallerinin elektrostatik eğilimlerini değerlendirmek için farklı ölçüm teknikleri mevcuttur.

1.6.7.1. Küçük Ölçekli Testler

Genellikle bir yalıtkanın elektrostatik özelliklerini ölçerken, topraklanmış bir nesne ile deşarj edilen yüklü haldeki kıyafeti giyen insan vücudunun gerçeklik olgusunu sunmamaktadır. Bu yöntemlerde; tipik yük oluşum proseslerinin (tribo-elektriklenme, indüksiyon ve iletimle yükleme) sonucu olarak elektrostatik deşarjlar, elektriksel yük birikimi, materyal tipinin içeriği, sistemin kapasitansı ve atmosferik koşullar gibi gerçek bir kıvılcım oluşumunu kapsayan çok sayıda şartlar mevcuttur. Elektrostatik yük

oluşumuyla ilgili değişken parametrelerin daha iyi anlaşılmasını ve kontrol edilmesini sağlamak için uygun cihazlar, ölçümler ve standardize edilmiş test yöntemlerine ihtiyaç vardır [156].

1.6.7.2. Elektrik Alanı

Bir elektrostatik alan elektrik yüklü bir nesneyi çevreleyen bölgede bulunmaktadır. Bu yüklü obje, yüksüz bir nesneye yaklaştırıldığında, önceden nötral olan nesne üzerinde yük indükleyebilir. Bu durum indüklenmiş yük olarak bilinir. Nicel olarak, bu indüklenen yük farklı potansiyellerdeki iki nokta arasındaki gerilim derecesidir [176]. Birçok durumda elektrik alanı elektrostatik etkilere neden olan yüklerden meydana getirilebilir. Muhtemel kıvılcım tehlikesinin hesaplanmasında kullanılan bir yöntem, yüklü kumaş yüzeyindeki elektrik alan yoğunluğunun (V/m) ölçmektir [177]. Bu yöntem, 5 kV/cm' den daha az alan şiddetlerini göstermekte ve 0.15 mJ' den daha büyük minimum tutuşma enerjisine (MIE) sahip yakıtları tutuşturamamaktadır [175].

1.6.7.3. Şarj

Yüzey gerilimi ölçümü sadece topraklanmış bir iletken ile desteklenmiş kumaş gibi ince uniform bir elektriksel yük yalıtıkanda gerçekleştirilebilir. Bu durumda, yüzey geriliminin yaklaşık değeri aşağıdaki formül vasıtasıyla hesaplanabilir (Denklem 1.18) [156]:

$$V_s = E \cdot d = \sigma(d/\epsilon) \quad (1.18)$$

burada; V_s yüzey gerilimi (V), E elektriksel alan (V/m), d malzemenin kalınlığı (m), σ elektriksel yük yoğunluğu(C/m^2) ve ϵ yalıtkanın dielektrik sabiti (F/m)'dir.

Diğer tüm durumlarda, yalıtkanın yüzey gerilimi onun malzeme içerisindeki elektriksel alanı olarak bir noktadan diğerine farklılıklar göstermektedir. Böylece, farklı noktalardaki taranan yalıtkan yüzeyinin alan kuvvetinin E (V/m) ölçümü için alan ölçer kullanarak elektriksel yük yoğunluğunun tespiti tavsiye edilmektedir. E , ϵ_0 (8.85×10^{-12} F/m) ile çarpılarak elektriksel yük yoğunluğunun ve onun yalıtkan üzerindeki dağılımının belirlenmesinde kullanılır. Diğer bir elektriksel yük ölçüm yöntemi ise Faraday kafesi ve bir elektrometreyle her bir parça üzerindeki toplam yükün ölçümüdür [156].

1.6.7.4. Direnç ve Yük Bozunumu

Elektriksel direncin ölçümü tekstil materyallerinin statik eğiliminin değerlendirilmesinde sık sık kullanılmaktadır [178, 179]. Tekstil materyalinin elektriksel direnci ve iletkenliği arasına şu bağıntı mevcuttur (Denklem 1.19) [180]:

$$R = \rho l / A \quad (1.19)$$

Eşitlikteki ρ ($\Omega.m$) malzemenin öz direncini, l (m) numunenin uzunluğunu, A (m^2) numunenin enine kesit alanı, R (Ω) ise malzemenin direncini belirtmektedir.

En çok kabul gören küçük ölçekli test yöntemlerinden birisi de yüzey dirençliliği, yani AATCC 76, 2000 [181] ve ASTM D257 [182] standartlarıdır. Yüzey potansiyellerinin belirlenmesinde bu tür ölçümlerin avantajları çoktur. Kumaşların elektriksel yük bozunma hızının ölçümü iyi bilinen ve endüstri çapında kullanılan bir diğer yöntemdir (Federal Test Standard 101C Yöntem 4046 ve Federal Test Standard 191A Yöntem 5931). Yük bozunum cihazını kullanarak yayılma hızını ölçmek için, bozunum süresi yüklü vücuttan yüzeyin elektron transfer kabiliyetini göstermektedir. Böylece direnç ne kadar büyük olursa, yük bozunum hızı o derece yavaş olacaktır [176].

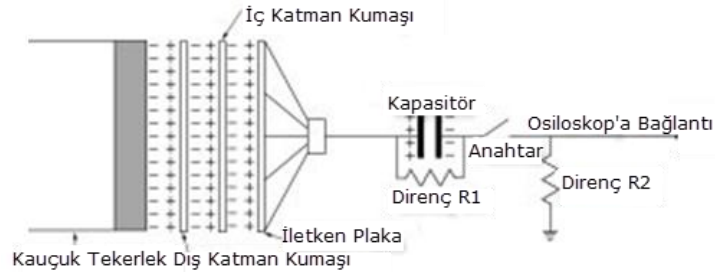
1.6.7.5. Gerilim

Yukarıda bahsedilen bazı eksikliklerin üstesinden gelmek için, NFPA (praragraf 6 – 22: 1992) standardı koruyucu giysilerdeki deşarj oranının ve tribo-elektriklenme (sürtünmeyle elektrikleşme) vasıtasıyla oluşan statik elektriksel yükün hesaplanmasında kullanılmaktadır [156].

1.6.7.6. Elektrostatik Deşarjlar

Tekstil materyallerinin antistatik performans gereksinimleri kullanım yerine göre değişkenlik gösterebilmekte ve patlama, şok, elektronik zarar ve tozdan koruma vasıtasıyla tespit edilebilmektedir. Tekstil malzemelerinin çeşitliliği ve kullanım yerlerinin karmaşıklığı nedeniyle antistatik performans direnç, sadece elektriksel yük ve alan kuvveti gibi elektrostatik özelliklerin değerlendirildiği tek bir test yöntemiyle tanımlanamaz. Bu limitasyonların tespiti için, hem tekstil yüzeylerinden hem de giydirilmiş insan vücudundan elektrostatik deşarjları hesaplamak için bir takım ölçüm teknikleri önerilmiştir [156].

Şekil 1.28' de gösterilen cihaz, bir kapasitörün deşarjıyla oluşan potansiyellerin ve enerjilerin ölçümü için geliştirilmiş ve bir kumaş sisteminin tribo-elektriklenmeyle önceden yüklenmiş NASA' nın tribo-charging cihazının basit bir modifikasyonudur.



Şekil 1.28. Modifiye edilmiş NFPA 1991, 9-29 tribo-charging cihazının şematik gösterimi [156].

Sistem, topraklanmış giydirilmiş bir insanın yalıtılmış bir yüzeye sürtünmesini, bir nesneye temas ettirilmesini ve ardından kıvılcım oluşturmalarını simüle etmek için tasarlanmıştır [183].

1.6.7.7. İnsan Vücudu Modelleri

İnsan üzerinde statik yük oluşumunun ölçümüne yönelik standart bir yöntem yoktur. Genel olarak kabul görmüş yöntem ise Faraday kafesi içerisinde kontrollü bir şekilde kişinin yürütülmesini kapsamaktadır. Bu yöntemde, tel bir kafesin içerisine giren kişi üzerinde eşit ama zıt yükler indüklenmektedir. Bu indüklenen yükler insan üzerindeki statik elektriklenmenin ölçümü olarak kayıt altına alınır. Bu modellemeye elde edilen sonuçlar, giysilerdeki elektrostatik eğilimin; sıcaklık, bağıl nem, kumaş tipi, yük mekanizmasının tipi ve ayağa giyilen malzemelerin doğası gibi bazı faktörlere bağlı olduğunu göstermiştir [169]. Bu modellemeler üzerine yapılan farklı çalışmalar ve sunulan farklı yaklaşımlar şöyledir:

Veghte ve Millard [184], aşırı soğuk giysiler üzerinde statik elektriklenme birikimine ilişkin yürüttükleri çalışmada, on beş farklı denek tarafından giyilmek üzere nylondan yapılmış üç farklı arktik giysi donanımı üzerinde oluşan elektrostatik yükü ve deneklerin kapasitanslarını 5 ila - 43°C ortam sıcaklığı ve %50 – 74 bağıl nem aralığında ölçmüşlerdir. Araştırma sonuçları, soğuk ortam şartlarında giysi üzerinde elektrostatik yük oluşma eğiliminin oldukça yüksek olduğunu ortaya koymuştur [184].

Wilson [185], işçiler tarafından kullanılan giysilerin elektriksel yük oluşturma özelliklerini araştırdığı çalışmada, yanıcı malzemelerle çalışırken kullanım için güvenli kumaşları tanımlamak için kullanılabilecek bir spesifikasyon geliştirilmesine yardımcı olmayı amaçlamıştır. Çalışmada, askeri personel giysileri, poliester ve keten/poliester örtücüler, aramid ve pamuk paraşüt kıyafetleri ve poliüretanla kaplanmış nylon mevsimlik kıyafetleri kullanmıştır. 21°C sıcaklık ve %15 – 80 bağıl neme sahip ortamda gerçekleştirilen çalışma sonucunda düşük nemlilikte pamuklu kumaşların sentetik kumaşlar kadar elektrostatik eğilim göstermiştir [185].

Scott [168] kumaşların yüzey gerilimi üzerine yoğunlaşmış insan vücudundan kıvılcım deşarjlarının tutuşma derecesine ve vücut üzerinde oluşan gerilimlerin tespitine yönelik çalışmada, vücut kapasitansının bedene, ayağa giyilen malzemelerin duruşuna ve giyiliş şekline göre değişkenlik gösterdiği (beden ne kadar büyükse, kapasitans da o derece büyüktür) ve yalıtkan çorap veya ayakkabıların vücudun elektriksel yalıtımını yükselttiği ve kapasitansını düşürdüğü sonucuna varmıştır [168].

De Santis ve Hickey [186] temizleme öncesi ve sonrası genişletilmiş soğuk giysi sistemi (ECWCS) üzerinde oluşan statik yüklenmeyi ölçmek için çeşitli ECWCS parçalarını giymiş bir test katılımcısı üzerine - 40°C deney sıcaklığında Faraday kafesiyle potansiyel birikim oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda, Gore-Tex® ceketin dış yüzeyinin ceketin giyilip çıkarılmasıyla çok düşük seviyede statik elektriklenme oluşturduğu tespit edilmiştir [186].

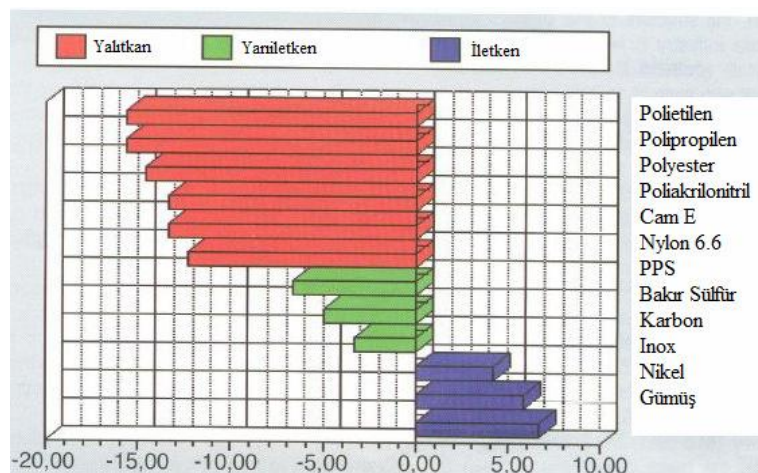
Rizvi et al. [167, 188] ve Crown et al. [187], fiziksel aktivite gerçekleştiren giyinik bir insanın topraklanmış bir elektrota dokunmasıyla oluşan kıvılcımın deşarj potansiyelinin ölçülmesi ve dijital bir osiloskop tarafından izlenmesi yöntemini geliştirmişlerdir. Deşarj-gerilim dalgasından, transfer edilen yük, deşarj enerjisi, olay süresi gibi ilgili diğer faktörlere kadar tüm parametreler hesaplanmıştır. Deneylerin hepsi oda sıcaklığında ve düşük bağıl nemde yapılmıştır. Koruyucu giysi sistemi giymiş insandan elektrostatik deşarj özellikleri farklı aktiviteler gerçekleştirilirken sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, antistatik liflerin (aramid/carbon ve aramid/paslanmaz çelik) kullanıldığı giysilerin antistatik olmayan liflerin (aramid ve FR pamuk) kullanıldığı giysilerden daha az statik yük oluşturduğunu, ancak bu yüklerin hala farklı gazların, buharların ve bunların karışımının minimum tutuşma enerjisinden büyük olduğunu ortaya koymuştur.

1.6.8. Statik Elektriklenmenin Azaltılması

Prensip olarak, yalıtkanlar üzerinde yükleri nötralize etmek, yani statik elektriklenmelerinin üstesinden gelmek için üç tane yöntem mevcuttur. Bunlar; materyal hacmi boyunca iletkenlik, materyal yüzeyi boyunca iletkenlik ve havadaki zıt yüklü iyonların çekimidir. Tekstil ürünlerini nötralize etmek ve statik elektriklenmeden kaynaklanan problemlerin önüne geçmek ve önemli ölçüde üstesinden gelmek için üretilecek materyallerin tasarımında anti-statik özellikli iletken liflerin kullanılması veya bitim işlemleri vasıtasıyla antistatik özellik kazandıracak maddelerin materyallere applike edilebilmesi mümkündür [165]. İletken iplikler, aynı özelliğe sahip filamentlerden, kesikli liflerden veya iletken özellik göstermeyen diğer lifler ile karışım halde eğrilmesi ya da iletken olmayan ipliklerin iletken metallerle kaplanması sonucu üretilebilmektedir. Bu doğrultuda, elektriksel iletkenliğe sahip kumaşlar da iletken ipliklerin/tellerin kullanılmasıyla veya iletken malzemelerle kaplanması vasıtasıyla üretilebilmektedir [189].

Tekstil lifleri, yapıları itibariyle iletkenlik özellikleri farklılık göstermekte, bu durum tekstil ürünlerine antistatik özellik kazandırma adına bazı özel lifleri diğerlerine göre çok daha avantajlı konuma getirmektedir. Bazı liflerin elektriksel iletkenlik değerleri Şekil 1.55’ de gösterildiği gibidir.

Şekil 1.29’ dan da görüleceği üzere, metallerin elektriksel iletkenlik özelliği oldukça yüksektir ($5 \times 10^7 \text{ (ohm.m)}^{-1}$ civarı). Sahip oldukları bu özellik, metallerden iletken iplik üretimi için tercih sebebidir [190].



Şekil 1.29. Tekstil liflerinin elektriksel iletkenlikleri [191].

Metaller, elektrostatik ve elektromanyetik alanların etkinliğini azaltıcı etki gösterirken, etkinlikleri; iletken ağırlık bağlantısına, elektromanyetik dalgaların frekansına ve kullanılan malzeme tipine bağlı olarak değişmektedir. Öte yandan metal esaslı malzemeler; yüksek ağırlık, rijitlik ve düşük konfor özellikleri gibi dezavantajlara da sahiptirler.

Metal (Inox) iplikler, olağanüstü iletkenlik özellikleri sebebiyle kullanıldıkları yapıda elektrostatik yüklerin iletimi ve boşaltımı görevini yerine getirirler. Dolayısıyla, bu ipliklerin karışımli olarak kullanıldığı kumaşlar iyi derecede antistatik etki gösterecektir [192].

Metal iplikler arasında statik elektriklenmeden ve elektromanyetik etkilerden koruma amacıyla kullanılanlardan en yaygın olanı paslanmaz çelik ipliklerdir. Bileşimlerinde en az %11 oranında krom içeren çelikler, paslanmaz çelik olarak adlandırılmakta, %18 oranında krom ve %8 oranında nikel ihtiva eden ostenitik, düşük karbonlu ve % 12 – 18 oranında krom ihtiva eden ferritik paslanmaz çelik tipleri ise lif üretiminde kullanılmaktadır. Bunlardan yapısında en az %10 oranında nikel ihtiva edenleri ise tekstil amaçlı kullanılmaktadır. Sahip olduğu üst düzey ve devamlı iletkenlik özelliği nedeniyle endüstriyel alanda %100 ya da karışımli halde kullanımı, elektrostatik yüklerin transferi ve boşaltılmasında yüksek potansiyel teşkil etmektedir [192].

Ayrıca, malzemeye statik elektriklenmeden koruma sağlayabilecek liflerden olan gümüş lifi, bu özelliğinin yanı sıra iyonunun çok sayıda mikroorganizmaya karşı etkinliğinden dolayı, iletkenliğinin yanında anti bakteriyel özellikte de kendisini göstermektedir [193].

Antistatik özellik gösteren bir diğer lif ise karbondur. Karbon, yapısı itibariyle en hafif elementlerden biri olması, termal özelliğini 2000°C' ye kadar koruyabilmesi özellikleri sebebiyle statik elektriklenmeden korunması istenen yapıların üretiminde kendisini oldukça avantajlı bir konuma getirmektedir. Grafit ve elmas olmak üzere iki kristal hali bulunan saf karbondan, atomları her yönde sıkı biçimde üç boyutlu ağ örgüsü oluşturan ve bu özelliğinden dolayı son derece sert ve kararlı olan elmas kristal hali haricinde, lif üretmek mümkündür. Sadece, kütleye en az %90 karbon içeren lifler, karbon lifi sınıfına girmektedir. Selülozik veya yapay liflerin kontrollü piroliz yöntemi vasıtasıyla üretilmektedir. Karbon lifi nihai ürün olarak düşük yoğunluğa sahip, kırılma yapısında ve kimyasal açıdan inert bir liftir [194, 195, 196].

Dolayısıyla, tamamının kullanımı konfor açısından problemlere yol açacak bu liflerden karışımli halde üretilen yapılar, elektrostatik etkileri mümkün olduğunca aza ve hatta sıfıra indirebilecek seviyeye ulaşabilmektedir.

Son yıllarda tehlikeli çalışma ortamlarındaki işçilerin sağlığı ve güvenliği hakkındaki yüksek farkındalık dolayısıyla kişisel koruyucu giysilere olan talep gittikçe artmaktadır. Günümüzde koruyucu giysiler üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, bu giysilere daha fazla fonksiyon kazandırmaya ve performansını arttırmaya yöneliktir. Bu çalışmaların önemli bir kısmı da diğer performans özelliklerini etkilemeksizin, koruyucu itfaiye giysisi başta olmak üzere diğer tüm koruyucu giysi sistemleri için yüksek derecede önem arz eden koruyucu giysi materyallerine antistatiklik fonksiyonu kazandırmayı amaçlamaktadır. Literatürde tekstil materyallerine antistatik özellik kazandırmaya yönelik yapılmış bir takım çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Hersh ve Montgomery [158], lif ve lif topluluğunun elektriksel direncinin bu materyallerdeki statik elektriklenmeye etkilerini araştırmaya yönelik çalışmalarında, belirlenmiş sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde 10^8 ohm' dan 10^{16} ohm' a kadar liflerin direncini ölçen bir cihaz tertip etmişlerdir. Deneysel çalışmada 30°C sıcaklıkta yün, pamuk, saç ve ipek gibi bazı doğal liflerin yanı sıra, rayon, asetat, nylon ve kazein gibi insan yapımı bazı lifler değişik bağıl nem değerlerinde kullanılmıştır. Bu cihazla ölçümler sonucu bazı diğer sentetik liflerin (Orlon®, Dacron®, Dynel®, polietilen, Velon®) oldukça yüksek dirence sahip olduğu ortaya çıkmışken, tüm numunelerin nem içeriğindeki artışın elektriksel direnci hızlı biçimde düşürdüğü göz önüne çıkmıştır [158].

Uchida et al. [197], suda çözünebilen noniyonik, anyonik ve katyonik yapıdaki monomerlerin UV indüklenmiş aşırı polimerizasyonu ile hidrofobik yüzeyi geçici hidrofilik yapıya dönüştürerek, poliester kumaşların antistatik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlar, poliester kumaş yüzeyine aşırı polimerizasyonu ile yüzey modifikasyonu yapılmasının antistatik özellikleri önemli derecede geliştirdiğini ortaya koymuştur [197].

Sano et al. [198], poli(etilen teraftalat) lifinin antistatik davranışını modifiye etmişlerdir. Bu yöntemde, poli(etilen teraftalat/5-sülfoizoftalat) ile karışım haldeki poliester lifleri (SIP-PET) karışım halde çekilip daha sonra yüksek derecede boyama işleminde çeşitli katyonik yüzey gerilmesini azaltan maddeler ile muamele edilmiştir. Deneyle

sonucunda, en iyi antistatik özellikler uzun alkil gruba ve poli (oksietilen) (PEO) zincirine sahip yüzey gerilimini azaltan maddeler ile elde edilmiştir [198].

Seto et al. [199], sentetik liflerden üretilme kumaşların yüzey modifikasyonlarını koronadeşarj işlemi ve bunu müteakip aş polimerizasyonu ile incelemiştir. Temel kumaşlar olarak polietilen ve poliamid-6 dokusuz yüzeyler kullanmışlardır. Kumaşlar üzerine Akrilik asit (AAc) koronadeşarj ön muamele yoluyla polimerize aşlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, elektriksel yük yayılımının akrilik asitin aşlanmasıyla önemli ölçüde azalmıştır [199].

Cheng et al. [200], elektrostatikdeşarj uygulamalarında kullanmak amacıyla termoplastik kompozit takviyeli iletken örme kumaşların geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. İletken örme kumaşlar, matrix malzemesi olarak polipropilen, takviye olarak cam lifi ve iletken dolgu malzemesi olarak bakır kablo kullanılarak yapılmıştır. Çıkan sonuçlar, termoplastik kompozit takviyeli örme kumaşların elektrostatikdeşarj yitimi, kumaşların örme yapılarının, ilmek yoğunluğunun ve örülen ipliklerin bileşiminin değiştirilmesiyle istenilen hale getirilebileceğini ortaya koymuştur [200].

Cheng et al. [201], elektrostatikdeşarj önlemek amacıyla sadece ev tekstillerinde, elektronik cihazlarda ve bunun gibi alt sistemlerde değil, aynı zamanda diğer endüstri alanlarında da kullanılabilecek yeni bir paslanmaz çelik/poliester karışımı dokuma kumaş geliştirmişlerdir [201].

Lowkis ve Motyl [202] polipropilen kumaşların elektret özelliklerine ilişkin çalışmalarında, kumaşları yüksek voltaj korona yöntemi kullanarak incelemiştir. Numunelerin eş değer gerilimi zaman içerisinde lineer artış gösteren sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Yarı bozunum sıcaklığı ve depolanan elektriksel yüklerin ömrü tahminlenmeye çalışılarak, polipropilen kumaşların filtrasyon indeksi yüzey yüklerinin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir [202].

Nan [203] metal olmayan liflerin yapısını ve özelliklerini analiz ederek poliester anti statik kumaş geliştirilmesine yönelik çalışmasında, elde ettiği kumaşın yüzey yük yoğunluğunu $4.5 \mu\text{C}/\text{m}^2$ den daha düşük çıkmıştır [203].

Ueng ve Cheng [204], antistatik etkiye ve elektromanyetik korumaya sahip iletken bir kumaş geliştirmek üzere gerçekleştirdikleri çalışmalarında, bu kumaşı üretiminde kullanmak üzere açık uç friksiyon iplik makinesinde özde paslanmaz çelik, mantoda

poliester ve paslanmaz çelik kesikli lifleri kullanılarak iletken özlü iplikler üretmişlerdir. Sonrasında, üretilen bu ipliklerden yarı otomatik dokuma tezgâhında 2/2 dimi ve 4' lü çözgü sateni yapılarda kumaşlar üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar, antistatiklik ve elektromanyetik koruma etkinliğinin; kumaş tipine, sıklığına ve kumaşların içerdiği iletken iplik miktarına göre değiştiğini göstermiştir [204].

Zhang ve Shi [205] iletken lif içeren kumaşların antistatik özelliğinin testinde kullanılan bazı standartlarla uygunluğunu incelemiş ve çalışmaları sonucunda yüzey yük yoğunluğunun ölçümler için en uygun yol olduğunu belirtmiştir [205].

Hains et al. [206], yanıcı ve potansiyel patlayıcı ortamlarda giyilen koruyucu giysi kumaşının elektrostatik özelliklerini test etmek amacıyla, EN 1149 – 1 standardında belirtilen test yöntemini kullanmışlardır. Elektrik deşarjından dolayı muhtemel bir yangın tehlikesinin oluşup oluşmayacağını belirlemek amacıyla bu çalışmada, poliüretanla kaplanmış farklı materyallerin (poliamid, poliester ve pamuk) kullanıldığı örme yapılar üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Beş kez makine yıkaması ve kuru temizleme öncesi ve sonrasında bütün numunelerin yüzey gerginliği test edilmişken, ilgili standartta sunulan şartlara ek olarak %35, 45, 55 ve 65 bağıl nem koşullarında bu ölçümler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar korelasyon analizleri ve grafikler vasıtasıyla sunulmuştur [206].

Huiying [207] organik iletken lif tasarımı ve pamuk/poliester kumaşın antistatik performansını test ettiği çalışmada, organik iletken lif ile karışım haldeki kumaşın anti statik performansının kumaşın yapısı ve içerdiği iletken lif miktarıyla doğrudan ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, dimi dokuma kumaşların bez ayağı dokuma kumaşlara oranla çok daha iyi anti statik performans gösterdiği ve çözgü yoğunluğu çok az etki gösterirken atkı yoğunluğunun bu özellik üzerinde daha etkin olduğu görülmüştür [207].

Zhou ve Liu [208] muamele görmüş poliüretan bir elastomer membranın yüzey direnci üzerinde çalışmışlardır. Poliüretan üzerine vinil asetat aşı edilmiştir. Deneysel sonuçlar, modifikasyon sonrası poliüretan membranın yüzey direncinin oldukça üst seviyelere çıktığını göstermiştir [208].

Zhenzhou [209] antistatik örgü kumaşın bu özelliğiyle ilişkisinde ihtiva ettiği iletken lif içeriğine ve iletken lifler arasındaki aralığa ilişkin çalışmalarında, değişkenler arasında regresyon eğri denklemleri elde edilmiştir. Birim alan başına düşen elektrik

yoğunluğunun sağladığı olanakla iletken liflerin teorik aralığının 2.74 cm ve teorik içeriğinin ise %6 olduğu anlaşılmıştır [209].

Pinar ve Michalak [210] statik elektriklenmeye karşı koruyucu giysi üretiminde kullanılacak örme kumaşların yapısal parametrelerinin elektrostatik özelliklerine etkisinin tespitini amaçladıkları çalışmalarında, elektro-iletken ipliklerin aralıklı bir şekilde temel ipliğin arka tarafında işlevini sürdürmesi tahmin edilen, çözümlü örme tekniğiyle üretilmiş üç farklı yapıda örme yapılar kullanılmıştır. İletken iplikler, örme kumaş yapısı içerisinde dikey atkı formunda yerleştirilmiştir. Arka yüzü polyesterden yapılmış bu farklı yapılar, iletken ipliklerin kullanılma derecesine göre değişkenlik göstermektedir. Çalışma sonucunda, tüm örme yapılarında antistatik etki gözlemlenirken, bu etkinin derecesi kumaş yapısına ve kullanılan iletken iplik miktarına göre farklılaşmaktadır [210].

Zhipeng [211] çözümlü ilmek bütünlüğü içerisinde iletken filamentlerin standart örgüsü ile düz ve haki örgü şeklinde iki çeşit antistatik kumaş tasarlamışlardır. Antistatik iplik zemin çözgüden ayırt edilmesi amacıyla çift katlı bükülmüş ham haldeki iletken lif asit boya ve poliamid ile boyanmıştır. Çalışma sonucunda kumaşlarda yüksek derecede iletkenlik sağlanarak antistatik özellikleri geliştirilmiştir [211].

Hamdaoui et al. [212], kumaşlardaki kapilariteyi arttırmak adına elektriksel direncin ölçümünü esas alan bir yöntem uygulamış ve uyguladıkları bu yöntem zamanla kumaştaki su içeriğinin belirlenmesine öncülük etmiştir [212].

Chen et al. [213], iletken hibrit ipliklerden üretilen örme ve dokuma yapıların yüzey özgül direncini, elektromanyetik koruma etkinliğini ve elektrostatik yük boşalmasını araştırmışlardır. Örme yapının ilmekleri özlü iplik olarak bakır tel/poliamid filament ve sarı iplik olarak paslanmaz çelik tel’ den oluşturulmuşken, farklı açılarda dört ve altı katlı lamine edilen dokuma-örme iletken kumaşların üretiminde; “Rotor Twister” makinesinde meydana getirilen iletken hibrit iplikler kullanılmıştır [213].

Bal ve Kothari [214] tekstil materyallerinin dielektrik özelliklerinin ölçümüne ilişkin yürüttükleri çalışmalarında çeşitli ölçüm tekniklerini ve bu tekniklerin tekstil endüstrisindeki başlıca uygulamalarının bazıları hakkında bilgiler sunmuşlardır [214].

Cui et al. [215], ıslak koşullar altında kumaşların elektriksel ve termal özellikleri üzerine dinamik analizler gerçekleştirmeyi amaçladıkları çalışmalarında, bu amaç

doğrultusunda bir cihaz kurarak, kumaşların nem alımı ve salınımı süresince ilgili özellikleri incelemişlerdir. Ayrıca çift katlı pamuk/polyester bir kumaşın elektriksel direnci ve sıcaklık arasındaki ilişki de analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, elektriksel direncin kumaşların iki taraflı nem alımıyla lineer bir ilişkisi olduğu, nem alımı ve salınımı boyunca pamuk katmanının elektriksel direncinin poliester katmana oranla çok hızlı biçimde düşüş gösterdiği ve elektriksel direncin yüzey sıcaklığından daha erken değiştiği tespit edilmiştir [215].

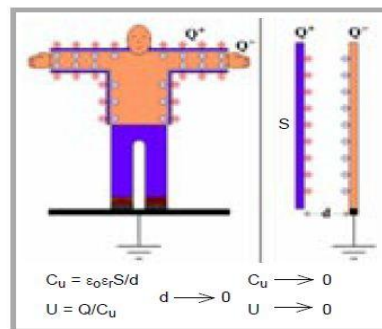
Neelakandan et al. [216], polianilin kaplama malzemesinin farklı konsantrasyonları ile muamele görmüş farklı yapıdaki poliester kumaşların yüzey gerginliği ve kayma özelliklerinin araştırılmasına yönelik çalışmalarında, kumaşların kaplama malzemesi miktarındaki artış ile yüzey gerginliğinin düştüğü ve bez ayağı yapıdaki kumaşların dimi ve satin dokumalara göre daha yüksek yüzey gerginliği verdiği sonucuna ulaşmışlardır [216].

Ramachandran ve Vigneswaran [217] akıllı tekstiller için Dref-3 friksiyon iplik eğirme sisteminde özlü iletken ipliklerin tasarlanması ve geliştirilmesine yönelik çalışmalarında, üniform iletken özlü iletken iplik yapısı oluşturmak için özel bir kılavuz mekanizması kullanarak; bakır bir teli öz ve bunun etrafına pamuk ipliğini manto olarak konumlandırmışlardır. Üretilen bu iletken ipliklerin elektriksel özellikleri üç ayrı gerilim (6V, 12 V ve 24 V) değerinde incelenmiştir. Çalışma sonucunda, özlü iletken ipliklerin düşük seviyede elektriksel direnç gösterdikleri ortaya çıkmıştır [217].

Özyüzer vd. [218], polipropilen liflerini yüksek vakumda magnetron püskürtme yöntemi kullanarak gümüş ve krom gibi elektriksel iletken metallerle kaplayarak bu yapının antistatik özelliklerini incelemişlerdir. Elektriksel iletkenlik kaplama malzemesinin kalınlığının bir fonksiyonu olarak ölçülmüşken, $10^6 - 10^8$ ohm/birim uzunluk² aralığındaki yüzey gerginlik değerlerinde kumaşların antistatik olarak değerlendirilebileceği vurgulanmış ve 10 nm kadar küçük boyuttaki tabakanın dahi 2.1×10^7 ohm/ birim uzunluk² yüzey gerginliğiyle iletkenlik oranını arttırdığı ortaya çıkmıştır. Böylece yeterli derecede ince gümüş ve krom tabakasıyla kaplanmış liflerin antistatik özellik sağladığı sonucuna varılmıştır [218].

1.6.9. Koruyucu Giysilerde Statik Elektriklenme ve Antistatik Özellik

Ağır çalışma koşulları ve bu ortamlarda giyilmesi zorunlu koruyucu giysiler, hem kullanıcı vücudu, hem de giysi malzemesinde elektriksel yüklenmeye sebep olabilir. Elektrostatik alanlarda veya elektrik deşarjının yangına ya da patlamalara sebep olabileceği çalışma ortamında; insan bedeninde statik yük oluşumu, insan vücudu üzerinde elektrostatik yük oluşumu, yüksek iletkenliğinden dolayı oldukça tehlikeli olmakla birlikte, genellikle kıvılcım şeklinde yüksek enerjili deşarjlara sebep olabilmektedir. Koruyucu giysi malzemesi, bu giysi donanımı giyildiğinde kendisini elektriksel olarak yükler, ancak malzeme yüzeyinden enerji deşarjı nispeten düşük olduğundan risk oluşturmamaktadır. Aynı zamanda, insan bedeninin büyük elektrik kapasitansı da (C_u) giysi sisteminin ürettiği elektrostatik gerilimin (U) azalmasına neden olmaktadır (Şekil 1.30). Özellikle, klimanın bulunmadığı ve düşük nemli ortamlar malzemenin direncini anlamlı ölçüde arttırmakta ve elektriksel yük oluşumunu neredeyse imkânsız hale getirmektedir. Dolayısıyla, tam tersi durumlar söz konusu olduğunda, yani yüksek nemli ortamlarda daha önceden de bahsedildiği üzere koruyucu giysi malzemesinin statik elektriklenme eğilimi daha da artacaktır. Öncesinde, tehlike arz etmeyen elektriksel yük oluşumu, ortam şartlarına bağlı olarak kritik seviyeye ulaştığında insan vücudu üzerinde elektro şok gibi felaketlere yol açabilmektedir. Bu problemin üstesinden gelmek ve statik elektriklenmenin etkilerini azaltmak amacıyla, koruyucu giysi malzemeleri olarak birçok uluslararası standart iletken lifler içeren tekstil yapılarının kullanımını tavsiye etmektedir [219].



Şekil 1.30. Temas yüzeyinin sabit alanı (S) ve sabit mesafesi (d) arasındaki malzeme yüklemesinin sabit seviyesinde yükü (Q) ve büyük elektrik kapasitansının (C_u) sonucu olarak giyinik durumda insan vücudundaki gerilim farkının (U) azaltılmasının etkisi

[219].

Koruyucu giysiler için tekstil yüzeyinden elektrostatik deşarjdaki yük transferi ve yük bozunma süresinin ölçüm yöntemlerinin tarifine ilişkin bazı standartlar mevcuttur. Koruyucu giysilerin antistatik özelliklerini değerlendirmek için kullanılan bu standartlar şunlardır:

EN 1149-1 standardı [220], yüzey iletkenliğini esas alan dağıtıcı elektrostatik davranışı için malzemelere uygulanan en uygun test yöntemidir. Kısa mesafelerde yüzey direncini belirlemektedir. Ancak, tüm giysi için değerlendirmede bu test yönteminin kullanılması uygun olmayabilir. Prensipte olarak, $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ de $\%25 \pm 5$ bağıl nemde 24 saat boyunca kondüsyonlaması yapılan numuneler yalıtıcı bir altlık üzerine konulur ve numunelerin üst yüzeyine elektrot topluluğu yerleştirilip, 15 ± 1 s süresince 100 ± 5 V gerilim uygulanarak ohmmetre ile kumaşların direnci ölçülmektedir [220].

EN 1149-2 standardı [221], koruyucu giysi malzemesinin dikey elektrik direncini ölçmek için kullanılan en uygun test yöntemini sunmaktadır. Bu yöntemde, EN 1149-1 (2006) standardı ile aynı şartlar altında ve aynı prensipte ölçümler yapılmaktadır [221].

Koruyucu giysilerde, giysi malzemesinin yüzeyinden elektrostatik yük yayılımının test yöntemlerini belirten EN 1149-3 standardında [222] tarif edilen test yöntemleri, iletken ipliklerin kullanıldığı homojen de homojen olmayan bütün materyallere uygulanabilmektedir.

EN 1149-5 standardı [223] ise, koruyucu giysilerin antistatik özellik göstermeleri için gerekli performans gereksinimlerini sunmaktadır [223].

Günümüze kadar koruyucu giysi sistemleri ve tasarımı üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda;

- Farklı liflerden üretilme kumaş yapıları, bu kumaş yapılarının özellikleri ve koruyucu giysi içerikleri; fiziksel, mekanik ve termal konfor özellikleri dikkate alınarak ortaya konulmuştur.
- Güç tutuşurluk, mekanik ve termal konfor özellikleri, koruyucu giysi sisteminin farklı katmanlarındaki farklı kumaş yapıları (dokuma kumaş, örme kumaş, dokusuz yüzey ve membran) ile sağlanmıştır.

Ancak, şimdiye kadar koruyucu giysilerin güç tutuşurluk, mekanik ve termal konfor özelliklerini ayrı ayrı katmanlarda farklı kumaşlar ile sağlamak yerine, bu özelliklerin tek bir üç boyutlu örme kumaş yapısında kullanılması üzerine herhangi bir araştırmaya

rastlanmamıştır. Bu deneysel çalışmayla, koruyucu giysilerin astar kısmında uygulanmak üzere; özel iplikler kullanılarak yuvarlak örme teknolojisi ile üretilen üç boyutlu boşluklu örme (ÜBBÖ) kumaşlara güç tutuşurluk, termofizyolojik konfor ve antistatiklik gibi multifonksiyonel özelliklerin tek bir yapıda kazandırılması amaçlanmıştır.

2. BÖLÜM

MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

2.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin Kalite ve Performans Değerleri

ÜBBÖ kumaşların üretiminde güç tutuşurluk ve iletkenlik sağlamak için kullanılacak Kermel®, Lenzing FR®, Nexylon FR®, Twaron®, karbon, pamuk ve viskon liflerinin farklı karışım oranlarını içeren kompozit iplikler, Karsu A.Ş. üretim tesislerinde bulunan ring iplik eğirme sisteminde üretilmiştir. İplik yapısındaki liflerin homojen biçimde karışımını sağlamak amacıyla karıştırma işlemi harman-hallaç dairesinde yapılmıştır. Balya formundaki lifler harman-hallaç dairesinde açılarak üretim hattına beslenmiştir. Ardından, liflere sırasıyla; açma, temizleme ve karıştırma işlemleri uygulandıktan sonra lifler ağsı bir yapı oluşturması ve ardından şerit formuna getirilmesi için taraklama işlemine tabi tutulmuştur. Buradan cer makinesine sevk edilen tarak şeritlerine pasaj cer uygulanmıştır. Cer makinesinden çıkan lifler ring iplik eğirme makinesinde sorunsuz çalışılmasına yetecek düzeyde büküm verilmesi amacıyla fitil makinesine girerek fitil haline getirildikten sonra ring makinesine beslenmiştir. Çekim sistemine giren fitillere yüksek çekim oranlarında nihai büküm aldırılarak iplik haline gelmesi sağlanmıştır. Bu işlemin akabinde kops teşkil edecek şekilde sarılan ipliklerin bobin makinesine sevk işlemi gerçekleştirilmiştir.

İplik üretimlerde; Lenzing FR®, Nexylon FR® ve kesikli karbon liflerinden harmanda; %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi olacak şekilde bir karışım ve %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi olacak şekilde diğer bir karışım sağlanarak iletken ring iplikleri üretilmiştir. Benzer şekilde Kermel®, Lenzing FR® ve

kesikli karbon lifleri; %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi olacak karıştırılarak iplik formuna dönüştürülmüştür. Ayrıca referans teşkil etmesi bakımından; %99 oranında Kermel®, Twaron®, pamuk ve viskon liflerine %1 karbon lifi karışımında iplikler de üretilmiştir. İpliklere iletkenlik kazandırılması ve dolayısıyla statik elektriğin kumaştan boşalmasına imkân sağlanması amacıyla iplik yapısı içerisine karbon lifi ilave edilmiştir. Kumaş üretiminde kullanılan ipliklerin kalite ve performans değerleri Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tablo 2.1 Deneysel çalışmada kullanılan kompozit ipliklerin fiziksel özellikleri.

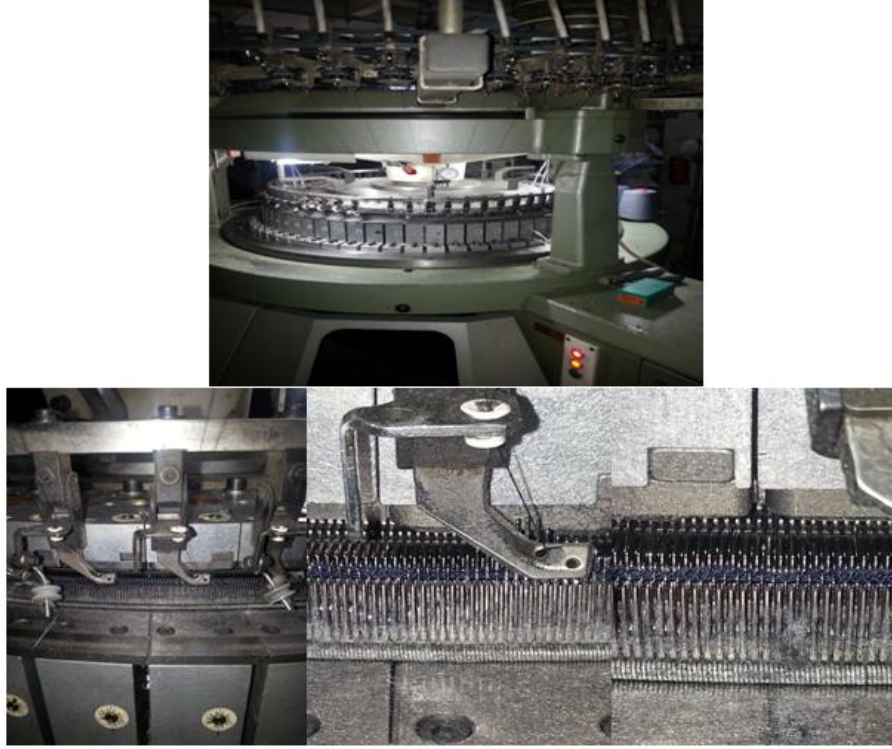
Karışım Oranı	İplik Numarası (Ne)	Büküm Sayısı (büküm/inç)	Rkm	E%	U%	H	İnce Yerler (adet/km)	Kalın Yerler (adet/km)	Neps/km
%85 Lenzing FR %14 Nexylon FR %1Karbon	30.1 (0.97)	20.7 (1.32)	13.72 (10.52)	7.15 (14.47)	11.35 (14.51)	3.70	17.1	160.4	577.1
%69 Lenzing FR %30 Nexylon FR %1Karbon	29.8 (1.74)	20.5 (1.34)	15.08 (9.59)	9.92 (9.19)	11.12 (14.75)	5.31	1.8	398	1279
%99 Kermel %1 Karbon	30 (1.10)	20.2 (1.95)	18.89 (16.38)	11.06 (14.59)	14.60 (18.53)	3.27	16.2	186	50
%50 Kermel %49 Lenzing FR %1 Karbon	30 (1.80)	20.5 (2.35)	18.68 (12.32)	9.68 (12.30)	10.52 (13.33)	4.62	9	11	4
%99 Pamuk %1 Karbon	29.9 (0.79)	21.0 (0.78)	13.88 (11.1)	4.85 (9.36)	12.63 (16.05)	6.24	26.4	279.6	411.4
%99 Viskon %1 Karbon	29.8 (0.57)	20.7 (1.26)	16.21 (9.53)	10.12 (13.25)	10.30 (13.00)	3.98	6.8	19.3	13.6
%99 Twaron %1 Karbon	30.5 (2.89)	19.9 (0.99)	-	-	11.82 (14.94)	4.84	15.4	72.1	145.7

*Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir.

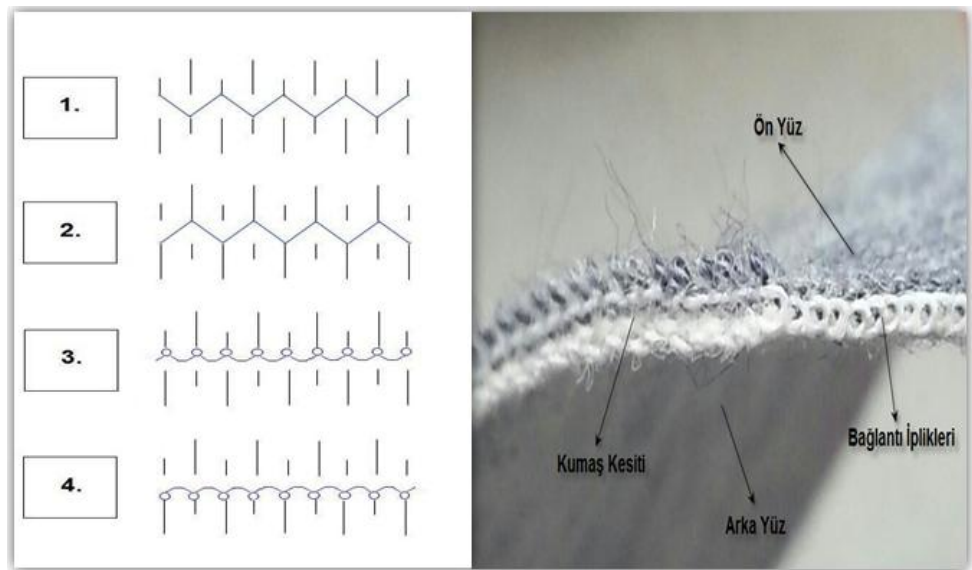
2.1.2. ÜBBÖ Kumaşların Üretimi ve Özellikleri

Üç boyutlu boşluklu örme kumaşların üretimi, Karsu A.Ş. tarafından Terrot tipi E18 inceliğinde, 36 inç çapında, 64 beslemeli, 2016x2 iğne kapasiteli çift plakalı yuvarlak atkılı örme makinesinde (Şekil 2.1), 17.0 rpm devirde gerçekleştirilmiştir. Makine, üzerindeki kapak ve silindir arasındaki mesafe ilgili yapının oluşturulması için gerekli şekilde ayarlanarak ve sıklık ayarları da yapılarak interlok ayarında çalıştırılmıştır. Makine üzerindeki ayarlamaların son etabında; çelik, kam ve örgü desen raporu (Şekil

2.2) hazırlanarak düzenlemeler tamamlanmış ve makine üretime hazır hale getirilmiştir. ÜBBÖ kumaşların hepsi kapalı yüzey yapısında üretilmiştir.



Şekil 2.1. ÜBBÖ kumaşların üretiminde kullanılan Terrot tipi yuvarlak atkılı örme makinesi.



Şekil 2.2. ÜBBÖ kumaşların örgü desen raporu ve bu raporla üretilen kumaşların yüzey görüntüleri.

Üretilen kumaş numuneleri üç boyutlu ve çift yüzeyli olduğundan, kumaşların fiziksel, elektriksel, güç tutuşurluk ve konfor özelliklerinin değerlendirilmesinde kumaşa ait yüzeyler isimlendirilmiştir. ÜBBÖ kumaşın ön yüzeyi, kumaşın kullanıcıya temas edecek ve konfor ile elektriksel özellikleri ön planda tutulan tarafını; arka yüzey ise koruyucu giysinin diğer tabakaları ile temas halinde olan ve dolayısıyla güç tutuşurluk özelliği ön planda olan tarafını ifade etmektedir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Boyutsal Stabilite

ÜBBÖ kumaşların karakterizasyon testleri öncesinde boyutsal olarak daha stabil bir hale gelmesi amacıyla kuru dinlenme işlemine tabi tutulmuştur. Tüp halinde örülen örme kumaşlar üretim aşamasına müteakiben 72 saati tüp halinde ve 96 saati ise kalite kontrolün ardından açık en halinde olmak üzere toplamda 7 gün kuru dinlenmeye firma içerisinde tabi tutulmuştur. Üniversite laboratuvarına getirilmesinin ardından 21 °C ortam sıcaklığında ve %45 nispi nemde 24 saat süresince bekletilerek ilave kuru dinlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemin ardından ÜBBÖ kumaşlara tez sürecinde yapılmış olan testlere tabi tutulmuştur.

2.2.2. Testler

2.2.2.1. Kumaş Karakterizasyon ve Performans Testleri

2.2.2.1.1. Kumaşların Makroskobik Analizi

Kumaş üretiminde kullanılan ipliklerin boyuna yüzey görüntüleri ve ÜBBÖ kumaşların farklı yüzeylerine ait görüntüleri, Olympus SZ61 stereo mikroskobu (Şekil 2.3) kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Yüzey görüntüleme işleminde kullanılan Olympus SZ61 stereo mikroskobu.

2.2.2.1.2. İlmek Sıklıkları ve İlmek Yoğunluğu

İlmek sırası, örgüde enine yönde yan yana, ilmek çubuğu ise uzunluk yönünde üst üste yer alan ilmekler dizisidir. İlmek sıklığı, kumaşın 1 cm uzunluğundaki sıra (may) ve çubuk sayısı (adet/cm) olarak adlandırılır. Numunelerin sıra/çubuk ilmek sıklık tayini TS EN 14971 standardı [224] esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Testin yapılışında öncelikle, numune düz bir zemin üzerine serbest halde serilerek, kumaşın sıra ve çubuk yönleri belirlenmiştir. Testin gerçekleştirilmesinde kullanılan mercek (loop), alt çerçevesi sıra ve çubuklarla dik açı yapacak biçimde kumaş üzerine yerleştirilmiştir. Numunelerin ön ve arka yüzlerindeki farklı bölgelerden hem sıra hem de çubuk yönünde 10 adet ölçüm alındıktan sonra, elde edilen değerlerin ortalaması alınarak kumaş yüzeyinde 1cm uzunluğa tekabül eden sıra ve çubuk sayısı tespit edilmiştir. Son olarak elde edilen ortalama sıra ve çubuk sayıları çarpılarak kumaş yüzeylerinin ilmek yoğunlukları (ilmek/cm²) tespit edilmiştir.

2.2.2.1.3. İlmek İplik Uzunluğu

İlmek iplik uzunluğu, bir ilmeği oluşturan iplik uzunluğunun (mm) iplik eksenindeki ölçümü olarak adlandırılmaktadır. Numunelerin ilmek iplik uzunluğu değerleri TS EN 14970 standardı [225] esas alınarak ölçülmüştür. Buna göre; her bir kumaş numunesinden 100 ilmek çubuğu içerecek şekilde işaretlenerek çubuk boyunca kesilmiş ve numunelerin ön ve arka yüzeyi ile hav bölgesinden 10 ar sıra sökülüştür. Sökülen ipliklerin serbest uzunluğunun belirlenmesi için Tautex Digital Crimp Tester (Şekil 2.4) cihazı kullanılmıştır. Cihaz üzerine yerleştirilen iplikler, kıvrımlarının açılmasına

yetecek ancak ilave bir uzama vermeyecek bir değer olarak bilinen 10 gramlık bir ağırlık (bu değer cihaz ekranındaki 10 sayısına tekabül etmektedir) ile gerdirilmiştir. Böylece ipliklerin serbest uzunlukları tespit edilmiş olup, elde edilen sonuçların ortalaması alındıktan sonra, 100' e bölünerek kumaşın her bölgesindeki bir ilmeğinilmek iplik uzunluğu belirlenmiştir.



şekil 2.4. Tautex Digital Crimp Tester lm Cihazı.

2.2.2.1.4. Kumaş Gramajının Tayini

Kumaşların gramaj tayini, TS 251 standardı [226] esas alınarak gerçekleştirilmiştir. şekil 2.5' de görüldüğü üzere 1dm²' lik dairesel bir kesim alanına sahip kumaş kesme aparatının altına yerleştirilen numunelere aparatdaki giyotinler vasıtasıyla kesim işlemi uygulanmıştır. Daha sonra, her bir kumaştan alınan 5 adet numune 1/1000 g hassasiyetindeki dijital göstergeli hassas terazide tartılarak gramaj tespiti yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Kumaş gramaj değerleri g/m² birimi ile raporlanmıştır.



Şekil 2.5. Kumaş gramaj tayini için kullanılan numune kesme aparatı.

2.2.2.1.5. Kumaş Kalınlığının Tayini

Kumaş numunelerinin kalınlık ölçümleri TS 7128 EN ISO 5084 standardı [227] esasına göre çalışan Elastocon EV 07 tipi Pnömatik Kalınlık Ölçer cihazında (Şekil 2.6) gerçekleştirilmiştir. Cihaz kalınlık sonucunu mm cinsinden vermekte ve 1/1000 mm hassasiyetinde ölçüm yapmaktadır. Cihazın kalibrasyonu yapıldıktan sonra, her bir numunenin ön ve arka yüzlerinden ve farklı bölgelerinden 5 adet ölçüm alınmış, ardından elde edilen ölçüm değerlerinin ortalamaları alınarak kumaş kalınlık ölçümü mm olarak kaydedilmiştir.



Sekil 2.6. Kumaş kalınlık ölçümü test cihazı.

2.2.2.1.6. Kumaş Gözenekliliği

Geçirgenlikle ilişkili örme kumaş özellikleri yüzeydeki gözenek yüzdesiyle oldukça yakın bir korelasyona sahiptir. Kumaş yapısındaki gözeneklilik, termofizyolojik konfor açısından önemli parametrelerin başında gelen; su buharı geçirgenliğini doğrudan etkilemektedir [130].

ÜBBÖ kumaşların gözeneklilik değerleri aşağıdaki denklem (Denklem 2.1) vasıtasıyla hesaplanmıştır [228]:

$$P = (1 - m / \rho h)100 \quad (2.1)$$

burada P kumaşa ait gözeneklilik yüzdesi, m kumaş gramajı, ρ lif yoğunluğunu (g/cm^3) ve h ise kumaş kalınlığıdır (cm). Denklemden verilmiş olan lif yoğunluğu değeri kumaşların içerdiği her bir lif yoğunluğu ve karışım oranları göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır [228].

2.2.2.1.7. Kumaşların Boncuklanma Testi

Boncuklanma kumaş yapısındaki liflerin kumaş yüzeyine çıkarak yüzeyde toplanmasıyla oluşan lif demetleridir. Bu durum kumaş kalitesini etkileyen, hem üreticiyi hem de ürünü kullanan tüketiciyi rahatsız eden önemli kumaş problemlerinden biridir. Kumaşların boncuklanma testleri BS EN ISO 12945-2: 2000 standardı [229]'na uygun biçimde, numunenin aynı kumaş kullanılarak boncuklandırılması esasına dayanan Martindale Aşındırma Cihazı'nda (Şekil 2.7) test edilmiştir.



Şekil 2.7. Martindale Aşındırma Test Cihazı.

Her bir kumaştan ayrı numune sabitleyicileri için iki farklı büyüklükte dairesel olarak 3'er adet numune kesilmiştir. Sürtünmenin gerçekleştirileceği büyük boyuttaki dairesel numuneler, arkaları bir keçe ile desteklenerek sürtülecek yüzeyi üste gelecek şekilde cihaz üzerindeki tablalara çember kısıkaç ile sabitlenmiştir. Boncuklanmanın değerlendirileceği küçük boyuttaki dairesel asıl kumaş ise sürtülecek yüzeyi dışa gelecek biçimde arkası bir keçe ile desteklenerek boncuklanma aparatına yerleştirilmiş ve örme kumaş olduğu için üzerine için 2.5 cN/m² basınç uygulanmıştır. Cihazın boncuklanma testi için çalışma prensibine göre, testi yapılan kumaş sürtülecek olan kendinden aynı kumaş üzerinde "Lissajoux" hareketi olarak adlandırılan dairesel hareketten kademeli olarak azalan elipsodik harekete, ardından çizgisel hale gelen harekete ulaşp, en son tersi yönde hareket ederek tekrar dairesel harekete ulaşmaktadır. Gerçekleşen bu hareket dolayısıyla numune yüzeyindeki lifler her doğrultuda sürtünmeye maruz kalırlar. Boncuklanma için testler 500 devirden başlayarak sırasıyla, 1000, 2000, 5000 ve 7000 ninci devirlerde olmak üzere 5 ayrı periyotta numune yüzeyleri kontrol edilerek gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu kontrollerde boncuklanma derecesi ASTM D 3512 standardı [230]' ndaki standart fotoğraflar ile karşılaştırılarak belirlenmiştir.

2.2.2.2. Kumaşların Termofizyolojik Konfor Testleri

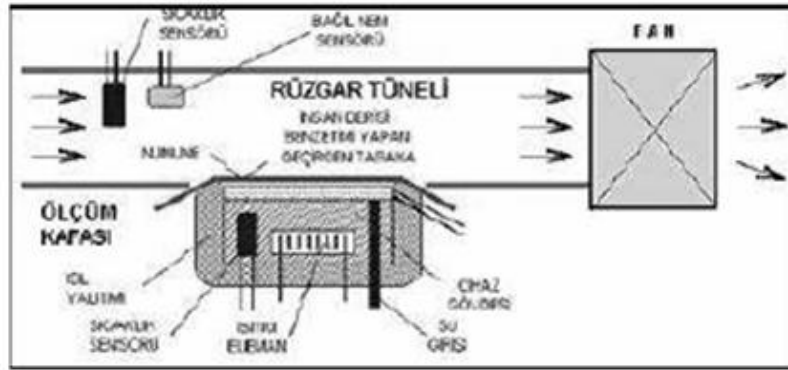
2.2.2.2.1. İnsan Cildinin Simülasyonu ile Su Buharı Geçirgenliğinin Ölçümü (Permetest)

Permetest Su Buharı Geçirgenliği test cihazı (Şekil 2.8), insan cildinin simülasyonu ile kumaşların su buharı geçirgenliğini, ISO 11092 standardı [231]' na göre ölçmektedir.



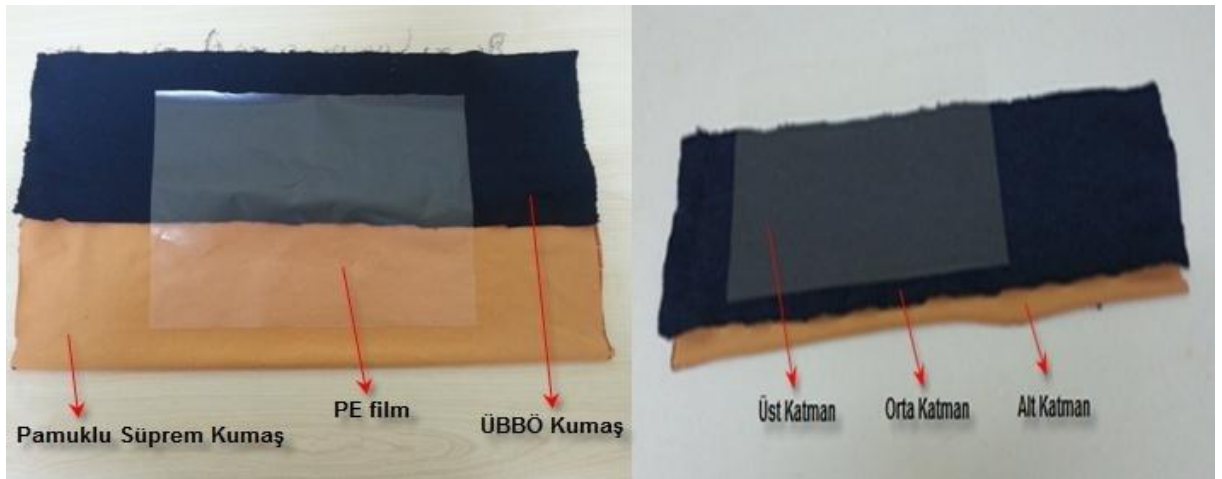
Şekil 2.8. Permetest Su Buharı Geçirgenliği Test Cihazı.

Cihaz (Şekil 2.8), terlemeyi simüle etmek amaçlı ıslak ölçüm kafasının üzeri insan derisindeki gözenekliliği simüle amacıyla poli(tetrafloretilen) bir membran ile örtülmüş yapının üstüne yerleştirilmiş kuru kumaş yüzeyine paralel yönde, normal cilt sıcaklığını simüle etmek amacıyla 35°C ısı akışı sağlayarak su buharı geçirgenliğini ölçmektedir. Permetest cihazının şematik gösterimi Şekil 2.9’ da gösterildiği gibidir.



Şekil 2.9. Permetest cihazı şematik gösterimi.

ÜBBÖ kumaşların su buharı geçirgenliği özelliklerinin değerlendirilmesi iki ayrı yaklaşım ile gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, her bir kumaştan, vücuda temas edecek olan ön yüzlerinden tek başına ölçüm alınmıştır. İkinci grup testte ise; üretilen multifonksiyonel ÜBBÖ kumaşlar koruyucu giysi sisteminde termal astar olarak kullanılacağından ve koruyucu giysi sistemini kullanacak kişinin vücudunun üzerine minimum koşullarda dahi bir atlet veya içlik giyeceğini hesaba katarak, çok katmanlı bir ölçüm tasarlanmıştır. Bunun için, termal astar kısmını oluşturacak ÜBBÖ kumaş üzerine, koruyucu giysi sisteminin nem bariyeri kısmını simüle etmek amacıyla su geçirmez özellikte bir PE film, altına ise iç giyimi simüle etmek amacıyla pamuklu süprem kumaş, Şekil 2.10’ da görüldüğü şekilde çok katmanlı koruyucu giysi sistemini oluşturmuşlardır. Daha sonra ölçüm için alt katman pamuklu süprem kumaşın teknik arka kısmı ölçüm kafasının üzerine, orta katman ÜBBÖ kumaşın ön yüzü de pamuklu süprem kumaşın teknik ön yüzünün üzerine ve son olarak ta PE film en üst katman olarak ÜBBÖ kumaşın arka yüzünün üzerine gelecek biçimde çok katmanlı sistem bu sıralamada cihaza yerleştirilmiştir. Ayrıca, her bir katmanın su buharı geçirgenliğine katkısının tespiti amacıyla, tekil halde ve PE film + pamuklu süprem kumaş olacak şekilde ölçümleri de yapılmıştır.



Şekil 2.10. Çok katmanlı koruyucu giysi sisteminin su buharı geçirgenliğinin ölçümünü simüle etmek için oluşturulan sistem.

Cihaz, ölçüm prensibi olarak kumaşların bağıl su buharı geçirgenliğini ($RWVP$ (%)) ve su buharı direncini (R_{et} (m^2Pa/W)) aşağıdaki formüller vasıtasıyla hesaplayarak ölçmektedir (Denklem 2.2 ve 2.3):

$$RWVP = 100(q_s / q_0) \quad (2.2)$$

$$R_{et} = (P_m - P_a) / (q_s - q_a) \quad (2.3)$$

burada, q_0 teste başlanmadan önceki cihazın ısı akış değeri, q_s cihazdan dışarı çıkan buharlaşma ısı akış miktarı, P_m ve P_a , $23 \pm 2^\circ C$ çevre sıcaklığı için doymuş kısmi su buharı basıncını (Pa) ve laboratuardaki gerçek kısmi su buharı basıncını (Pa) göstermektedir.

ÜBBÖ kumaşların su buharı geçirgenliği testleri, yukarıda bahsedilen her iki yaklaşım dâhilinde her bir kumaş için $21 \pm 2^\circ C$ 'de $\% 45 \pm 5$ nem koşulları altında, 3' er ölçüm ve bu ölçümlerin ortalama değerleri alınarak gerçekleştirilmiştir.

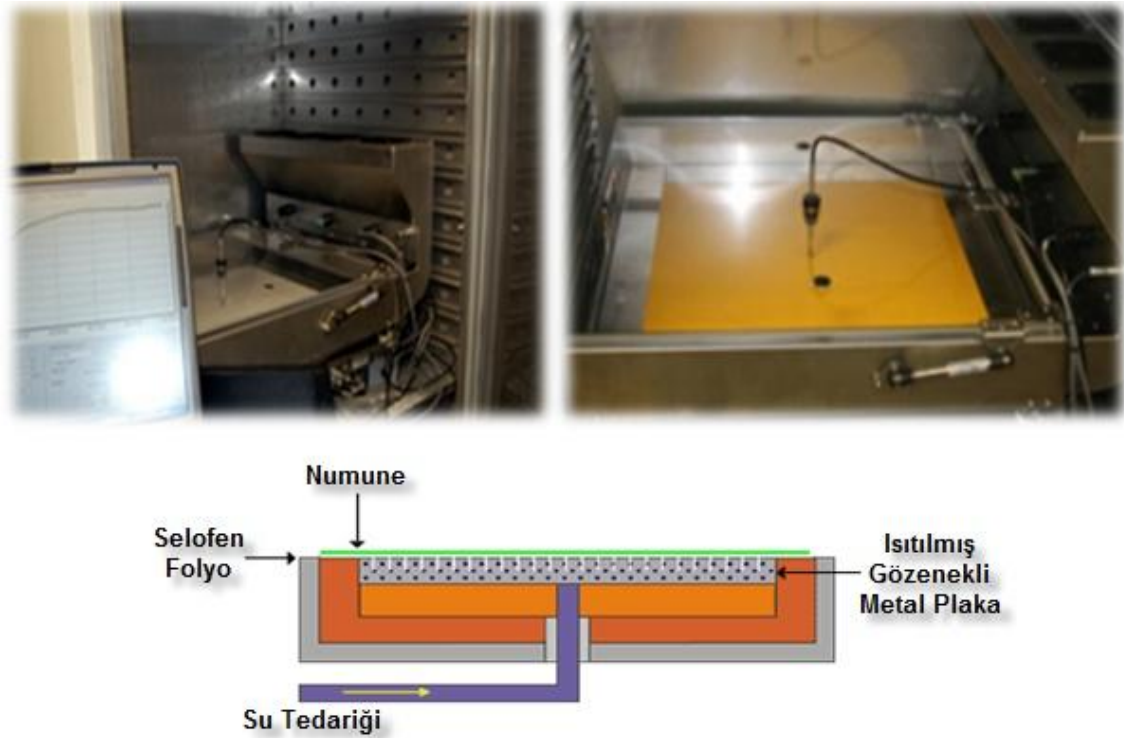
2.2.2.2.2. Ter Korumalı Sıcak Plaka (Cilt modeli) Test Yöntemi ile Termal Direnç Ölçümü (Sweating Guarded Hot Plate)

Ter korumalı sıcak plaka yöntemi (ISO 11092:1993 [231]), bir ya da birden fazla katmanlı tekstil yapılarının termal yalıtım ve su buharı direnci özelliklerinin değerlendirilebildiği bir cilt modelidir. Bu model iklimik bir çember içerisindeki

elektriksel sıcak bir plakadan ibarettir. Kare şeklindeki numune bu plaka üzerine yerleştirilerek, önceden belirlenmiş sıcaklık, bağıl nem ve fandan kumaş yüzeyine teğet esen hava akış hızında (1 m/s) plaka 35°C' ye ısıtılır. Ölçme yüzeyi herhangi bir ısı kaybını önlemek için aynı sıcaklığa ısıtılan bir koruyucu vasıtasıyla çevrilidir (Şekil 2.11).

Termal direnç r ($\text{m}^2\text{K/W}$); denge durumu ısıtma gücü (Q), cilt modeli sıcaklığı (T_s) ve rüzgâr kanalı içerisindeki havanın sıcaklığı ($T_a = 20^\circ\text{C}$) arasındaki sıcaklık farkı ve ölçüm yüzeyi alanının (A) bir fonksiyonu şeklindedir (Denklem 2.4):

$$r = A(T_s - T_a/Q) \quad (2.4)$$



Şekil 2.11. Ter Korumalı Sıcak Plaka (Cilt Modeli) Test Yöntemi [232, 233].

ÜBBÖ kumaşların termal iletkenlik ve termal direnç değerleri, $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ve $\%65 \pm 4$ bağıl nemli ortam koşullarında Ter Korumalı Sıcak Plaka cihazında (Şekil 2.11) gerçekleştirilmiştir. Her bir kumaştan $30 \times 30 \text{ cm}^2$ lik iki adet numune kesilmiş ve test sonucu elde edilen ortalama değerler kayıt altına alınmıştır.

2.2.2.2.3. Kumaşların Hava Geçirgenliği Testi

Hava geçirgenliği iki yüzü arasında belirli bir basınç farkı bulunan kumaşın birim yüzeyinden geçen hava hacmi miktarı şeklinde tanımlanmaktadır [111, 128]. Dolayısıyla, kumaşın hava geçirgenliği; kumaşın, içerisine nüfuz eden havanın geçişine ne oranda olanak sağladığının bir göstergesi olup, belirli bir zaman dâhilinde ve yüzeyler arası basınç farkında kumaşın birim alanından dikey yönde geçen hava akısının hızı şeklinde ölçülmektedir. ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenlik testleri $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%65 \pm 4$ bağıl nemli ortam koşullarında, TS 391 EN ISO 9237 standardı [234]'na esasen ölçüm yapan SDL Atlas M021A model hava geçirgenliği test cihazında (Şekil 2.12) gerçekleştirilmiştir. $50 \times 50 \text{ cm}^2$ 'lik boyutlardaki numuneler üzerinde kırışıklık olmayacak şekilde ve varsa yüzeydeki kırışıklıklar giderilerek 20 cm^2 'lik dairesel ölçüm kafası kumaşın yüzeyine temas ettirilerek 100 Pa basınç farkında gerçekleştirilmiştir. Her bir kumaşın hem ön hem de arka yüzeylerinden 5'er adet alınan ölçümlerin ortalama değerleri tespit edilmiştir.

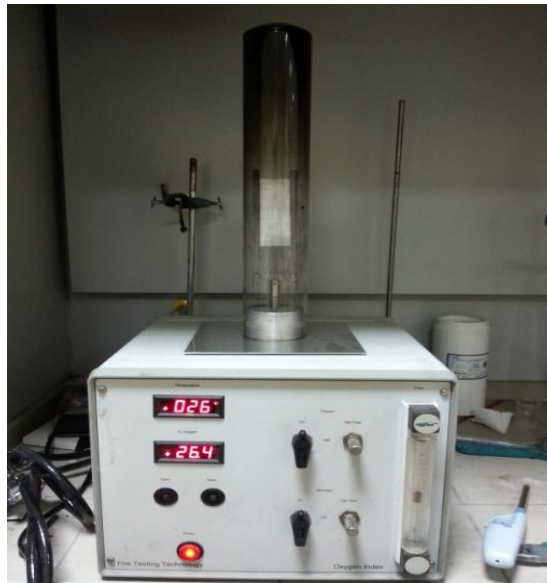


Şekil 2.12. SDL Atlas M021A modeli hava geçirgenliği test cihazı [235].

2.2.2.3. Kumaş Güç Tutuşurluk ve Termal Analiz Testleri

2.2.2.3.1. Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI) Testi

ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk performansını ölçmek amacıyla; $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ve $\%65 \pm 4$ bağıl nemli ortam koşullarında, ASTM D2863 test standardı [78]' na (BS 2782 no' lu standardın 141nci yöntemi [79] olarak da tarif edilmektedir) uygun olarak sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) testleri gerçekleştirilmiştir. LOI ölçümü için her bir kumaştan 5 adet 10 cm x 6 cm boyutlarında dikdörtgen numuneler alınmıştır. Daha sonra bu numuneler, LOI cihazının (Şekil 2.13) numune tutucu çerçevesine yerleştirildikten sonra, çerçeve cihaz kolonuna dik biçimde yerine oturtulmuştur. Kolonun alt kısmından başlatılan hava akımıyla birlikte uygulanan oksijen miktarı sadece numunenin yanmasına yetecek seviyede ayarlandıktan sonra, numune kolonun üst tarafından yakılmıştır. Bu şekilde 5 adet deneme gerçekleştirildikten sonra uygulanan hava akımı içerisindeki uygun değer yüzde (%) oksijen miktarı kayıt altına alınmıştır.



Şekil 2.13. Sınırlayıcı Oksijen İndeksi Testi Ölçüm Cihazı.

2.2.2.3.2. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetri (TG), kontrollü bir sıcaklık değişiminde malzemede meydana gelen kütle kaybının ölçüldüğü ve yüksek sıcaklık şartları altında alev geciktirici materyallerin karakterizasyonunda kullanılan temel bir termal yöntemdir. ÜBBÖ kumaşlarda kullanılmak üzere üretilen kompozit ipliklerin termal stabiliteilerinin değerlendirilmesi

ve ÜBBÖ kumaşların ısıya ve aleve dayanıklılığının kalite kontrolü ISO 11358-1: 2013 standardı [81] esas alınarak Perkin Elmer Diamond TG/DTA Termal Analiz cihazında (Şekil 2.14) gerçekleştirilmiştir. Test ölçümü, nitrojen gazı akışı altında 50°C’ den 800°C’ ye kadar 10°C /dak ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Cihazdan çıkan sinyallerin derivatifi (türevi) alınarak Derivatif Termal Gravimetrik (DTG) eğrileri elde edilmiştir. Böylece sıcaklık artışıyla zamanla malzemenin kütleinde meydana gelecek kaybın hızı TG’ den elde edilen nümerik değerlerin türevi alınarak belirlenmiştir.



Şekil 2.14. Numunelerin termal analizinde kullanılan Perkin Elmer Diamond TG/DTA cihazı.

2.2.2.3.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizi, sıcaklığa ve ısı akışına bağlı olarak malzemedan soğurulan veya salıverilen enerji miktarını ölçerek malzemenin içsel ısı değişimini analiz etmek için kullanılmaktadır. DSC spektrumu pirolize uğrayan malzemenin sıcaklığındaki ve açığa çıkan ısı miktarındaki değişimleri (camsı geçiş sıcaklığının, erime noktasının, soğuk kristallenme, faz geçişi ve oksidasyon indüksiyon geçişi noktaları) göstermektedir. Ayrıca, doğal ve sentetik esaslı tekstil malzemelerinin termal kararlılıklarının (erime, bozunma, camsı geçiş ve kristallenme sıcaklıkları) tespitinde kullanılmasının yanı sıra, polimerlerin kristallenme oranlarının belirlenmesinde de kullanılmaktadır [236].

ÜBBÖ kumaşların termal dönüşüm süresince açığa çıkan ve absorplanan ısı miktarları ve yukarıda bahsedilen termal parametreleri BS EN ISO 11357 – 1 standardı [237]’ na göre Perkin Elmer Diamond DSC cihazı (Şekil 2.15) vasıtasıyla ölçülmüştür. Ölçümler,

10 – 12 mg arasında malzemenin sıkıştırılarak, numune kabına yerleştirilmesi ve gaz çıkışının sağlanması için numune kabı üzerinde 4 adet delik açılmasının ardından 0 °C ‘ den 800 °C’ ye 10 K/dak ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.15. Numunelerin termal analizinde kullanılan Perkin Elmer Diamond DSC cihazı.

2.2.2.4. Kumaşların Statik Elektriklenme Testi

Statik elektriklenme genel anlamda, yapıtaşı atom olan maddelerin herhangi bir maddeyle teması, yaklaşması veya o maddeden ayrılması sonucu kararlı haldeki elektron yapılarında değişiklikler meydana gelmesi ve bir yük değişimi ortaya çıkması olarak adlandırılır [155]. Tekstil ürünleri için, “elektrostatik” veya “statik elektriklenme” terimi, lifin ve neticede kumaşın yüzeyinde nem içeriği ve sürtünmeye bağlı olarak bir birikim oluşturacak şekilde havadan elektrik yüklerini çekme ve tutma kabiliyetidir. Elektrik, kumaşın kendi kendine ya da bir başka kumaş ya da cisme sürtünmesi ile oluşturulur. Statik elektriklenme, hem kullanım hem de çalışma karakteristiğidir. Statik elektrik yükü, elyafın dolayısı ile kumaşın işlenmesini zorlaştırır, kumaş hatalarına neden olurlar.



Şekil 2.16. ÜBBÖ kumaşların antistatik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan Fetronic Static Lab Tester ölçüm cihazı [238].

ÜBBÖ kumaşların antistatik özelliklerinin değerlendirilmesinde, yüzey ve hacim direncinin ölçümü için korumalı bir bilezik vasıtasıyla EN 1149-1 standardı [220]'na esasen ölçüm yapan Fetronic Static Lab Tester cihazı (Şekil 2.16) kullanılmıştır. Cihaz, iki parça elektrot (iç kısımdaki 50 mm çaplı ve 5mm çaplı hava boşluğu olan, dış kısımdaki 60 ile 80 mm arasında değişebilen çapa sahip) ve biri yüksek derece çelikten, diğeri polikarbonattan olan iki parça yerleştirme plakasından oluşmaktadır (Fetronic Manuel). Ayrıca iplikler için de ayrı bir ölçüm düzeneği mevcuttur. ÜBBÖ kumaşların statik elektriklenme testleri 23 ± 1 °C' de % 25 ± 5 bağıl nemde numunelerin 24 saat boyunca kondüsyonlaması yapıldıktan sonra her bir numunenin ölçüm kafaları arasına yerleştirilerek, 15 ± 1 s süresince 100 ± 5 V gerilim uygulanması ve ohmmetre ile kumaşların dirençlerinin ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Her bir kumaştan 5 adet ölçüm alınmış ve bu değerlerin ortalamaları kayıt altına alınmıştır.

2.2.2.5. İstatistiksel Analiz

Yapılan testler sonucu elde edilen verilerin istatistiksel analizi için Design Expert paket programı kullanılmıştır. ÜBBÖ kumaşların termofizyolojik konfor testleri sonucu elde edilen verilerin etkisinin anlamlılığının değerlendirilmesinde tek faktör varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Ayrıca, ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği – hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenlik direnci – hava geçirgenliği arasında korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin ve ÜBBÖ Kumaşların Fiziksel Özellikleri

ÜBBÖ kumaşların hepsi aynı desen raporunda ve makine ayarlarında üretilmiştir. ÜBBÖ kumaşların üretiminde kullanılan ipliklerin fiziksel özellikleri ve kalite/performans test sonuçları Tablo 2.1’de verilmiştir. Kumaş örgüsüne bağlı olarak, her bir tabakada kullanılan iplikler, kumaş kodları ve kumaşların lif içerikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

ÜBBÖ kumaş üretiminde kullanılan kompozit ipliklerin tamamı Ne 30 inceliğinde ve 20 büküm/inç büküm sayısında üretilmiştir.

Kompozit ipliklerin kopma uzunluğu (Rkm) değerleri incelendiğinde, para – aramid esaslı olan Twaron® lifi içerikli kompozit ipliği, mukavemet ölçümü yapan iplik çekme cihazının limitlerini aştığı ve çok yüksek mukavemet değerine sahip olduğu için Rkm değeri verilememiştir. Lenzing FR® lifinin mukavemeti yüksek olup, karışımli ipliklerde ise bu kalite/performans özelliğinin iplik yapısındaki Lenzing FR® lifi oranına bağlı olarak çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Meta – aramid esaslı olan Kermel® lifi içerikli ipliklerin, Kermel® lifinin yapısı gereği yüksek mukavemete sahip olduğu görülmüştür.

İpliklerin elastikiyet değerleri incelendiğinde, iplik kopuş mukavemetlerine paralel olarak; Lenzing FR® ve Kermel® karışımli ipliklerin daha çok uzama gösterdikleri ve iplik yapılarındaki Kermel® oranının bu değere önemli derecede katkı sağladığı görülmüştür.

Tablo 3.1. ÜBBÖ kumaşların içerikleri.

Kumaş Kodu	Ön Yüz İplik İçeriği (%)	Hav 1 İplik İçeriği (%)	Hav 2 İplik İçeriği (%)	Arka Yüz İplik İçeriği (%)	Kumaşların İçerdiği Lif Yüzde (%)
U1	Viskon (99) Karbon (1)	Viskon (99) Karbon (1)	Viskon (99) Karbon (1)	Viskon (99) Karbon (1)	Viskon (99) Karbon (1)
U2	Kermel (99) Karbon (1)	Kermel (99) Karbon (1)	Kermel (99) Karbon (1)	Kermel (99) Karbon (1)	Kermel (99) Karbon (1)
U3	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Kermel (99) Karbon (1)	Kermel (99) Karbon (1)	Kermel (62) Lenzing FR(37) Karbon (1)
U4	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)
U5	Pamuk (99) Karbon (1)	Pamuk (99) Karbon (1)	Pamuk (99) Karbon (1)	Pamuk (99) Karbon (1)	Pamuk (99) Karbon (1)
U6	Lenzing FR(69) Nexylon FR(30) Karbon (1)	Lenzing FR(69) Nexylon FR(30) Karbon (1)	Lenzing FR(69) Nexylon FR(30) Karbon (1)	Lenzing FR(69) Nexylon FR(30) Karbon (1)	Lenzing FR(69) Nexylon FR(30) Karbon (1)
U7	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)
U8	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Kermel (13) Lenzing FR(76) Nexylon FR(10) Karbon (1)
U9	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Kermel (50) Lenzing FR(49) Karbon (1)	Lenzing FR(85) Nexylon FR(14) Karbon (1)	Kermel (25) Lenzing FR(67) Nexylon FR (7) Karbon (1)
U10	Twaron (99) Karbon (1)	Twaron (99) Karbon (1)	Twaron (99) Karbon (1)	Twaron (99) Karbon (1)	Twaron (99) Karbon (1)
U11	Viskon (99) Karbon (1)	Twaron (99) Karbon (1)	Twaron (99) Karbon (1)	Twaron (99) Karbon (1)	Twaron (74) Viskon (25) Karbon (1)

İplik tüylülük değeri (H), iplik üzerindeki 1cm boyunca, iplikten dışarı doğru uzanmış kılcal liflerin toplam uzunluğunu ifade etmektedir. Tüylülük değerindeki artış, boncuklanma eğilimini önemli derecede etkilemektedir [239]. Üretilen kompozit ipliklerin tüylülük değerleri incelendiğinde, ipliklerin aynı işletme şartlarında, aynı eğirme makinesi üzerinde, aynı eğirme ayarları ile neredeyse aynı büküm değerinde üretildiği göz önüne alınacak olursa; %99 Kermel® lifi içerikli ipliğin tüylülük değeri en düşüktür. Pamuk lifi içerikli ipliğin ise en yüksek çıkmıştır. Lenzing FR® lifi karışımli ipliklerde bu değer, Lenzing FR® lifi oranına bağlı olarak doğru orantılı biçimde artmakta ve viskon lifi içerikli iplikte ise bu değer düşük seviyede olduğu görülmüştür. Ayrıca, iplik yapısındaki Kermel® lifi oranı artışının, bu değer azalmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

Deneyisel çalışmada kullanılan kompozit ipliklerdeki ince ve kalın yer sayıları değerlendirildiğinde, iplik kalın yer değerleri başta %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon olmak üzere, %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon gibi üçlü karışımlar ile %99/ Kermel®/karbon karışımı iplikte daha yüksek çıkmıştır. Bunun yanı sıra, %99/1 pamuk/karbon karışımı ipliğin de en yüksek kalın yer sayısına sahip ipliklerden biri olduğu görülmektedir. Bu durumun, iplik yapısındaki karbon lifinin büküm alan bölgelerde pamuk lifiyle iyi derecede bütünleşemeyip büküm etkinliğine olumsuz yönde katkı sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kompozit ipliklerin neps sayıları dikkate alındığında, ipliklerdeki kalın yer sayılarına paralel olarak, %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon ve %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon gibi üçlü karışımlar ile %99/1 Kermel®/karbon, %99/1 Twaron®/karbon ve %99/1 pamuk/karbon karışımı ipliklerde çok daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumun temel sebebinin, ipliklerin tüylülük değerlerinin birbirinden çok sapma göstermediği göz önünde bulundurulacak olursa; büküm almamış iplik bölge sayısındaki artışın, neps oluşumuna doğrudan sebep olacağı düşünülmektedir.

Kompozit ipliklerin kalite ve performans test sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, kompozit ipliklerin kalite ve performans değerlerinin makul seviyelerde olduğu ve ipliklerin örme prosesinde sorunsuz biçimde çalışmasına engel teşkil etmeyecek düzeyde özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, üretilen kompozit ipliklerden büküm etkinliğinin görüntülenmesi için çekilmiş olan iplik yanal görüntüleri Ekler kısmında (Ek Şekil 1 – Ek Şekil 7) verilmiştir. Bu kısımdaki görüntülerle de birlikte, liflerin iplik kesitinde ve bükümün iplik boyunca düzgün dağılımının sağlandığı görülmüştür.

Deneyse çalışmada kullanılan ÜBBÖ kumaşlar; ön yüzde, arka yüzde ve bu yüzeyi birbirine bağlayan iki ayrı hav olmak üzere farklı iplik kombinasyonları kullanılarak üretilmiştir (Tablo 3.1). Kumaşların ön yüzleri vücuda temas edecek yüzeyler olduklarından, bu kısımlarda konfor özelliğine öncelik verilmiş olmakla birlikte güç tutuşur özellik sağlaması da hedeflenmiştir. Arka yüzlerde ise ön yüze nazaran doğrudan yüksek ısıya veya aleve maruz kalınacağından dolayı, daha ziyade güç tutuşurluk özelliği daha ön planda olacak iplik karışımları tercih edilmiştir. Her iki hav ipliğinde ise aynı karışımda kompozit iplikler tercih edilmiştir. Her bir kumaşta etkin bir iletkenlik ve dolayısıyla statik elektriğin kumaştan boşalımının sağlanması için deneyisel

çalışmada kullanılan kompozit ipliklerin yapısı içerisinde %1 oranında karbon lifi mevcuttur. Ayrıca, farklı kombinasyonlardaki ÜBBÖ kumaşlara örnek teşkil etmesi açısından, karşılaştırılmalı kullanılmak üzere bütün bölgelerindeki iplikleri %99/1' lik Kermel®, Twaron®, pamuk ve viskon olmak üzere referans kumaşlar üretilmiştir. Nexylon FR® lifinin sert tuşeli olmasından dolayı, bu liften referans kumaş üretilmemiştir. Pamuk ve viskon liflerinden üretilme kumaşlar termal konfor, Kermel® ve Twaron® liflerinden üretilme kumaşlar ise güç tutuşurluk özelliğinin değerlendirilmesinde referans olarak kullanılmıştır. Üretilen ÜBBÖ kumaşların yüzey ve kesit görüntüleri Ekler kısmında (Ek Şekil 8 – Ek Şekil 18) verilmiştir.

Tablo 3.2. ÜBBÖ kumaşların fiziksel karakterizasyonları.

Kumaş Kodları	Sıra Sıklığı (ilme/cm)	Çubuk Sıklığı (ilme/cm)	İlme Yoğunluğu (ilme/cm ²)	İlme İplik Uzunluğu (mm/ilme)				Gramaj (g/m ²)	Kalınlık (mm)	Gözeneklilik (%)
				Ön	Hav 1	Hav 2	Arka			
U1	14.1 (0.22)	7.9 (0.22)	112.00 (2.83)	3.78 (0.02)	2.47 (0.10)	2.48 (0.10)	3.78 (0.01)	265.30 (0.03)	1.22 (0.01)	85,48
U2	14.2 (0.27)	8.2 (0.27)	115.20 (1.79)	3.68 (0.01)	2.41 (0.01)	2.41 (0.01)	3.67 (0.01)	282.00 (0.04)	1.29 (0.02)	84,33
U3	14.2 (0.27)	8.2 (0.27)	115.20 (1.79)	3.58 (0.01)	2.39 (0.01)	2.40 (0.01)	3.57 (0.11)	269.32 (0.02)	1.23 (0.01)	84,54
U4	14.1 (0.22)	8.3 (0.27)	115.20 (1.79)	3.63 (0.01)	2.38 (0.01)	2.38 (0.01)	3.55 (0.01)	263.00 (0.02)	1.21 (0.01)	85,22
U5	13.9 (0.22)	8.1 (0.22)	112.55 (1.23)	3.65 (0.01)	2.40 (0.01)	2.40 (0.01)	3.65 (0.01)	266.10 (0.01)	1.21 (0.01)	85,54
U6	14.1 (0.22)	7.9 (0.22)	111.40 (4.00)	3.57 (0.03)	2.44 (0.01)	2.44 (0.01)	3.57 (0.02)	260.61 (0.01)	1.25 (0.01)	85,25
U7	14.1 (0.22)	7.9 (0.22)	111.40 (3.97)	3.63 (0.02)	2.40 (0.01)	2.40 (0.01)	3.64 (0.01)	263.52 (0.02)	1.20 (0.02)	85,27
U8	14.1 (0.22)	7.8 (0.27)	109.95 (3.10)	3.61 (0.01)	2.44 (0.01)	2.44 (0.01)	3.67 (0.01)	259.45 (0.03)	1.23 (0.01)	85,59
U9	13.8 (0.27)	8.2 (0.27)	112.55 (3.10)	3.63 (0.01)	2.40 (0.01)	2.40 (0.01)	3.67 (0.01)	257.10 (0.03)	1.25 (0.01)	85,77
U10	13.9 (0.22)	8.1 (0.22)	112.00 (2.83)	3.52 (0.01)	2.33 (0.01)	2.33 (0.01)	3.51 (0.02)	260.51 (0.03)	1.24 (0.02)	85,49
U11	14.2 (0.27)	7.8 (0.27)	110.75 (4.12)	3.81 (0.01)	2.40 (0.01)	2.40 (0.01)	3.61 (0.01)	274.72 (0.02)	1.25 (0.02)	85,25

*Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların fiziksel karakterizasyonları Tablo 3.2' de verilmiştir. İlme iplik uzunluğu, kumaşın gerek boyutsal gerekse de fiziksel karakterizasyonu üzerinde önemli etkisi mevcuttur. Aynı örme kumaş yapısı içerisinde ilme iplik uzunluğundaki değişim, kumaş üzerinde enine çizgi ya da bantlar oluşumuna sebep olacak hatalar meydana

getirmektedir. Dolayısıyla, hatasız bir örme kumaş yapısında ilmek iplik uzunlukları kumaş boyunca yaklaşık sabit değerde olmalıdır.

ÜBBÖ kumaşların ilmek iplik uzunlukları incelendiğinde, örme ilmeği için iplik uzunluğu askı ilmeğinin iplik uzunluğundan daha yüksek olacağı noktasından hareketle, ön ve arka yüzey ipliklerinin ilmek iplik uzunlukları, hav ipliklerinin ilmek iplik uzunluğundan daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 3.2). Kumaşların ön yüzlerindeki ilmek iplik uzunluğu değerleri 3.52 – 3.81 mm, arka yüzlerindeki ilmek iplik uzunluğu değerleri 3.51 – 3.78 mm arasında değişmektedir. Kumaş yapısındaki iki hav ipliğinin ilmek iplik uzunluğu değerleri 2.38 – 2.47 mm aralığında değişmektedir. Bütün bölgelerinde aynı kompozit iplik kullanılan numunelerde (U1, U2, U4, U5, U6, U7 ve U10) silindir ve kapaktan beslenen ipliklerin ve her iki hav ipliğinin ilmek iplik uzunluklarının neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Bu yaklaşık sonuçlar ise, kumaşların üretiminin düzgün ve hatasız olarak gerçekleştirildiğini göstermektedir. Ancak, iki yüzeyi birbirinden farklı kompozit ipliklerle örülmüş diğer ÜBBÖ kumaş numunelerinde (U8, U9 ve U11) iplik özellikleri arasındaki farklılıktan ötürü iki yüzeydeki ilmek iplik uzunlukları birbirinden farklı değerde çıkmıştır.

ÜBBÖ kumaşlar aynı makine ayarları ile üretildiğinden, sıra ve çubuk sayıları kendi aralarında çok farklılıklar göstermemiştir.

ÜBBÖ kumaşların kalınlıkları 1.20 – 1.29 mm arasında değişim göstermiştir. İpliklerin yüzey özelliklerinin kumaş kalınlığını etkilediği bilinmektedir. Bu bağlamda, kumaş üretiminde kullanılan ipliklerin tüylülük derecelerindeki artış kumaş kalınlığını artırıcı etki göstermektedir. En düşük kalınlık değerine 1.20 mm ile U7 kodlu numune sahipken, en kalın kumaş ise 1.29 mm değerle her bölgesinde Kermel® ipliği kullanılarak üretilmiş U2 kodlu numune çıkmıştır.

Kumaş gramajı, kumaş kalınlığıyla da doğru orantılı olacak şekilde, kullanılan liflerin yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Üretilen ÜBBÖ kumaşların gramajları 253.15 – 282.0 (g/m²) aralığında değişim göstermiştir. Yoğunluğu 1.50 – 1.52 arasında değişen rejenere selüloz lifi esaslı viskon ve Lenzing FR® liflerinden üretilen ve yapılarında bu liflerden daha yüksek oranda bulunduran ÜBBÖ kumaşlar (U1, U6 – U9); Kermel® (meta-aramid, 1.34 – 1.38 g/cm³), Twaron® (para-aramid, 1.44 – 1.47 g/cm³) ve Nexylon FR® (PA 66, 1.13 – 1.14 g/cm³) liflerinden daha yoğun olduğu için, bu lifler kullanılarak üretilmiş kumaşlardan gramaj olarak daha yüksek çıkmıştır (Tablo 3.2).

Kullanılan lifler arasında düşük yoğunluğa sahip Nexylon FR® ve Kermel® liflerini bir arada içeren numunelerde (U8 ve U9) gerek kalınlık, gerekse de gramaj değerleri olarak diğer kumaş yapılarından daha düşük olduğu görülmüştür. ÜBBÖ kumaşlar arasında en ağır kumaşlardan biri olan ve bir yüzünde viskon, diğer tüm bölgelerinde Twaron® lifi içeren U11 numunesi kalınlığıyla doğru orantılı olacak şekilde yüksek gramaja sahiptir. Kullanılan liflerin geneline göre daha az yoğunluğa sahip Kermel® lifi içerikli U2 numunesi kalınlık değerinin yüksek olması nedeniyle en ağır kumaş olarak tespit edilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların gözeneklilik değerleri göz önüne alındığında; %84.33 - %85.77 arasında değişen gözenek oranına sahip kumaşlar aynı iplik numarasında ve makine ayarlarında üretildiklerinden dolayı birbirine oldukça yakın değerlerde çıkmışlardır (Tablo 3.2). Kumaş konstrüksiyonu açısından değerlendirildiğinde, üretilen ÜBBÖ kumaşların gözeneklilik değerlerinin, literatürdeki gözeneklilik değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür [34].

3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin ve ÜBBÖ Kumaşların Güç Tutuşurluk Özelliği ve Termal Analizi

3.2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kompozit İpliklerin Termal Analizi

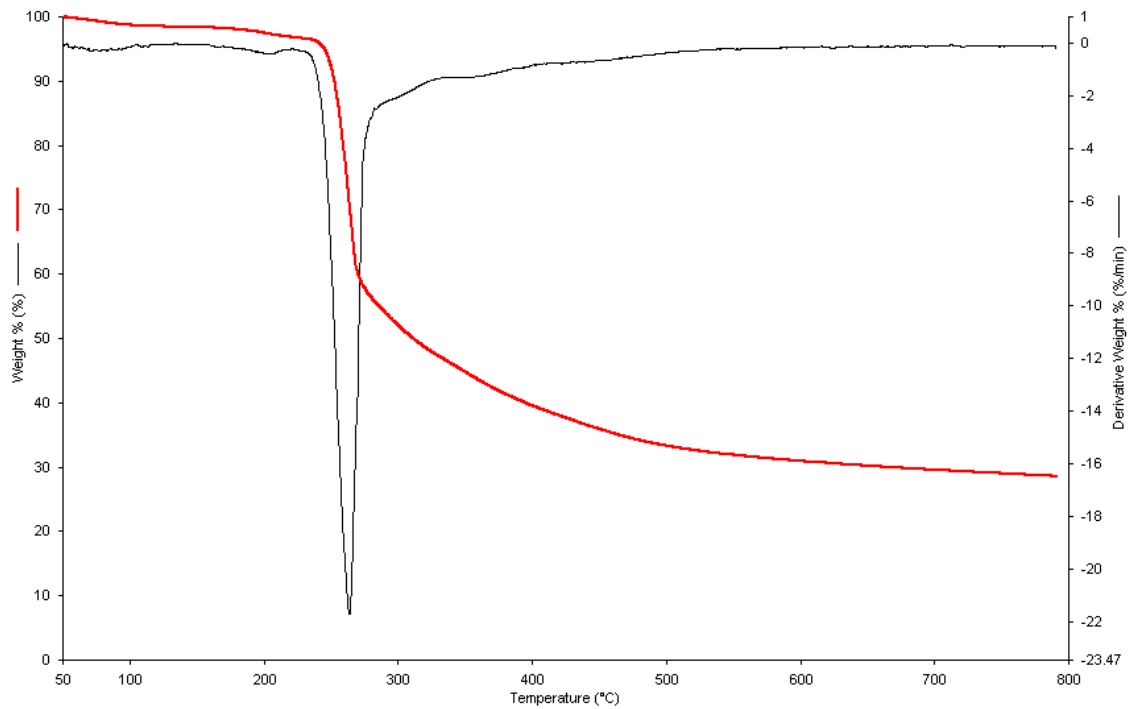
ÜBBÖ kumaşların üretiminde kullanılan kompozit ipliklerin termogravimetrik analizi sonucu elde edilen veriler ve grafikler aşağıda verilmiştir. Tablo 3.3’ de numunelerin %5 kütleli kayıp sıcaklığı ($T_{5\%}$), kütle kaybının maksimuma ulaştığı sıcaklık (T_{max}) ve 800°C sonunda malzemeden kalan kömür artığı yüzdeleri (%wt) verilmiştir.

Genelinin tek basamakta uğradığı termal bozunuma, kompozit ipliklerden %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karışımı ipliğin iki basamakta uğradığı görülmüştür (Tablo 3.3). Bu durum, ipliğin içerdiği Kermel® ve Lenzing FR® liflerinin gösterdiği termal davranışın farklı spektrumlarda olmasından kaynaklanmaktadır. ÜBBÖ kumaşlarda kullanılmak üzere üretilen kompozit ipliklerin termogravimetrik analizi sonucu elde edilen ilgili termal parametre değerleri aşağıda verilen ilgili iplik TG/DTG eğrilerinde (Şekil 3.1 – Şekil 3.7) ayrıntılı bir biçimde tartışılmıştır.

Tablo 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan kompozit ipliklerin termal analiz sonuçları.

Numune İçeriği	T _{5%} (°C)	T _{max} (°C)	800 °C' deki kömür artığı (%wt)
%85 Lenzing FR %14 Nexylon FR %1Karbon	247.0	263.8	28.54
%69 Lenzing FR %30 Nexylon FR %1Karbon	250.0	266.4	28.12
%99 Kermel %1 Karbon	556.0	579.1	39.09
%50 Kermel %49 Lenzing FR %1 Karbon	249.4	262.5/579.5	41.12
%99 Pamuk %1 Karbon	265.5	346.8	20.71
%99 Viskon %1 Karbon	290.5	335.6	16.63
%99 Twaron %1 Karbon	522.8	578.5	43.69

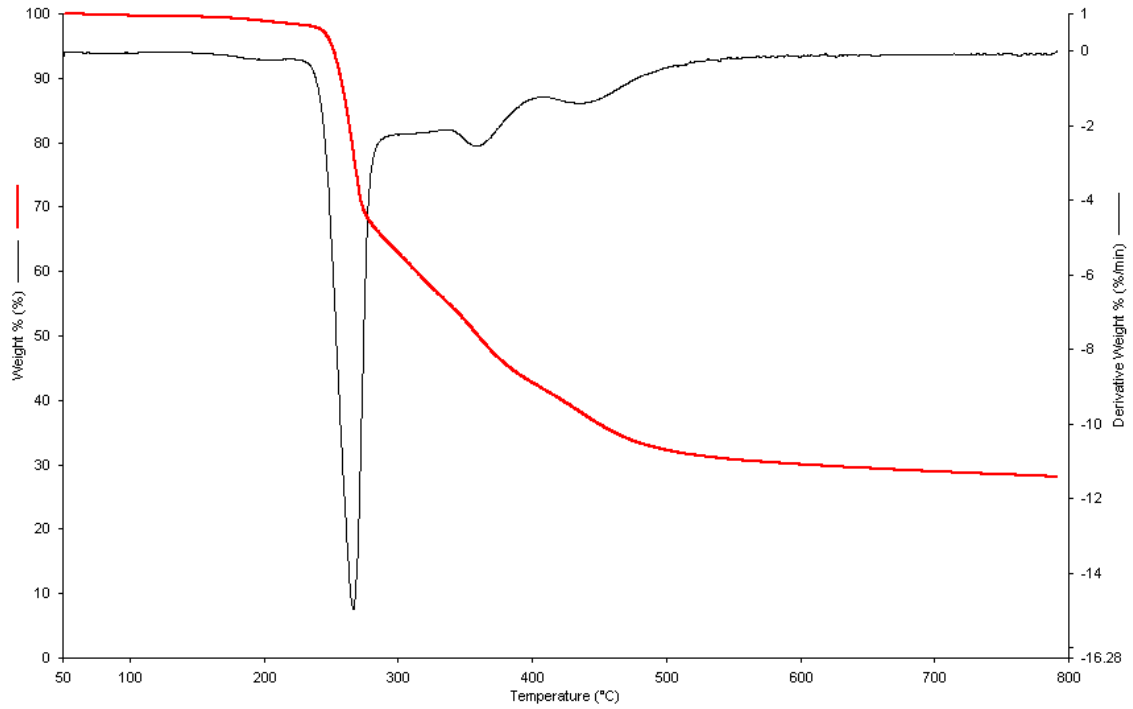
* Sıcaklık değerleri “/” şeklinde ayrılan numuneler iki basamakta termal bozunmaya uğramış 1 nci ve 2 nci basamaklardaki T_{max} değerleri yazılmıştır.



Şekil 3.1. %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi.

%85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve karışımly yapı 231.2°C' ye kadar kütlece nispeten kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.1).

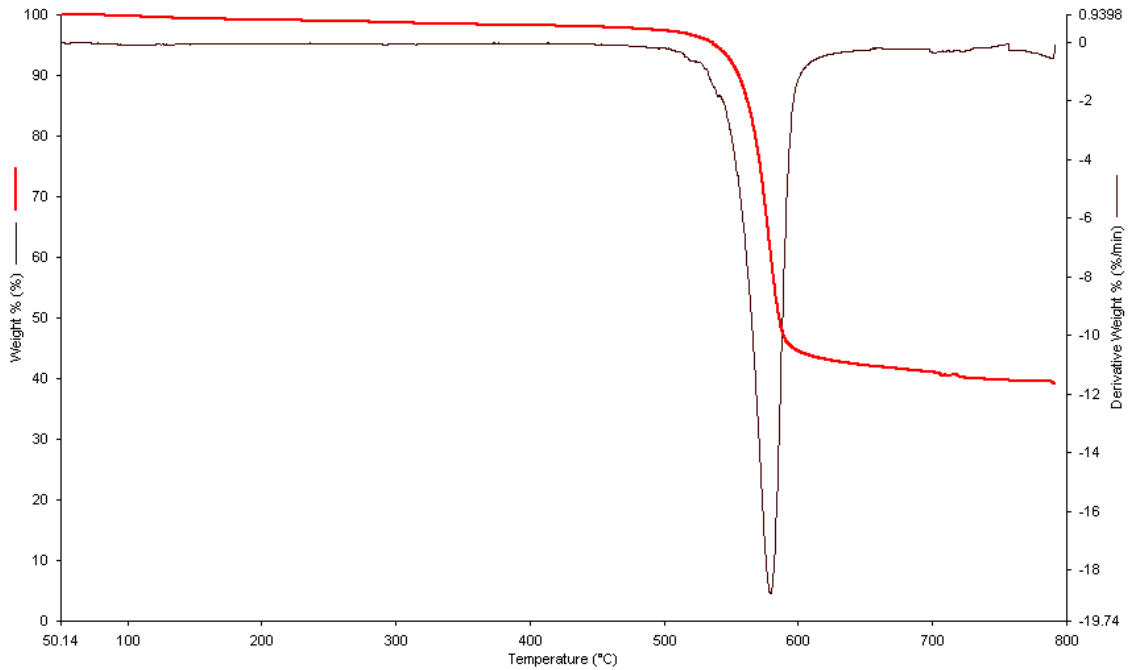
Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütleli kaybın sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. En yüksek bozunma hızına ulaşılan $T_{\max}$: 263.8°C noktasına kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Bu ana kadar karışımdaki Lenzing FR® lif miktarının çoğu bozunmuş ve poliamid 66 grubuna ait yapıda az miktarda bulunan Nexylon FR® lifinin bir kısmı bozunmaya başlamıştır. Ardından az miktarda bulunan Lenzing FR® ve bozunumu devam etmekte olan Nexylon FR® lif kütlesinin termal indirgenmesi zamanla yavaşlayarak yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %28.54' lük bir kömürleşme artışı bırakmıştır. İplik yapısındaki Nexylon FR® lifinin termal degradasyonu daha geniş spektruma yaydığı görülmüştür. Eldeki TG/DTG eğrisi hem iyi bir termal konfor hem de yüksek termal stabilite bakımından bu karışımın iyi sonuçlar verebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 3.2. %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi.

%69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve karışımly yapı 231.8°C' ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.2). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütleli kaybın sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu

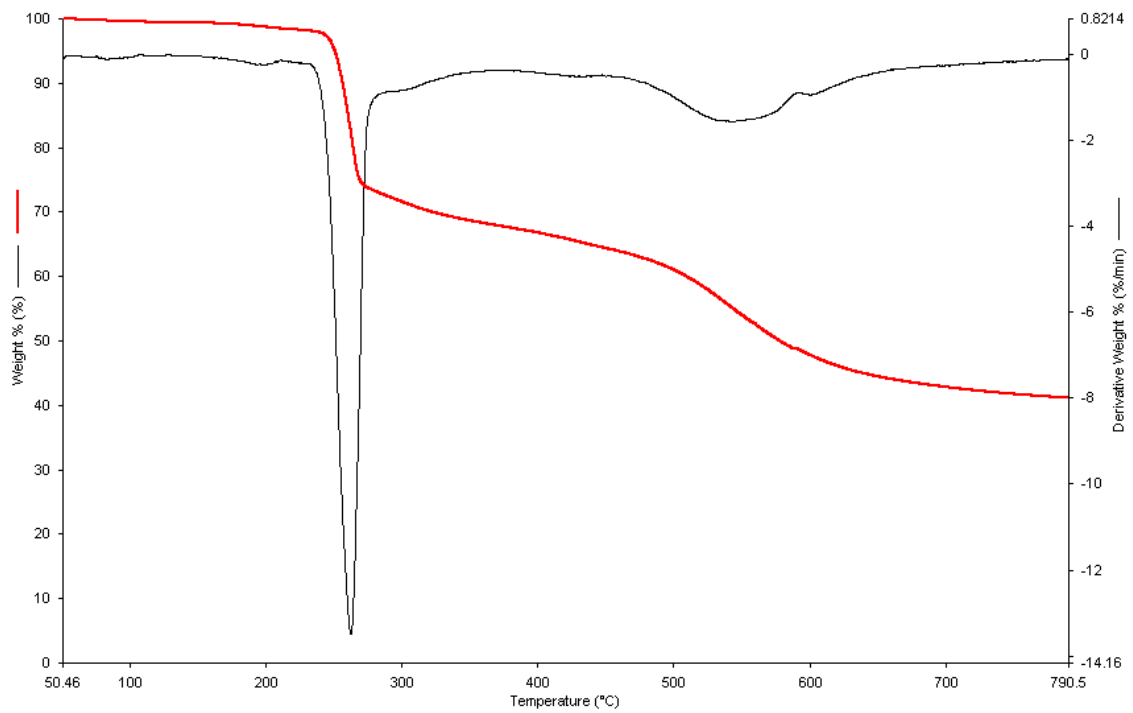
olduğu düşünülmüştür. Bu değerden sonra T_{max} : 266.4°C noktasına kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Bu ana kadar karışımdaki Lenzing FR® lif miktarının çoğu bozunmuş ve poliamid 66 grubuna ait yapıda az miktarda bulunan Nexylon FR® lifinin bir bölümü bozunmaya başlamıştır. Ardından yapıdaki kütlesinin büyük bir kısmını kaybetmiş ve daha sonra giderek yavaşlayacak Lenzing FR® lifinin kütle kaybı, yerini 358.2°C' den itibaren diğer karışım oranına göre daha fazla miktardaki Nexylon FR® lifinin hızlı biçimde termal degradasyonuna bırakmış ve yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %28.12' lik bir kömürleşme artığı kalmıştır. 250°C' den daha yüksek sıcaklıklarda termal indirgenmeye maruz kalacak ve bozunumu Lenzing FR® lifinden daha geniş sıcaklık spektrumunda gerçekleşecek olan Nexylon FR® lif miktarının bu karışımda daha fazla olması; karışımın bozunum sıcaklık aralığını genişletmiştir. Bu karışımın termal analiz sonucu yine hem iyi bir termal konfor hem de yüksek termal stabilite sağlanması bakımından bu karışımın iyi sonuçlar verebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 3.3. %99/1 Kermel®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi.

%99/1 Kermel®/karbon lifi karışım ipliğinin TG analizi dikkate alındığında, numunesinin termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 521.2°C' ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.3). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütleli kaybın sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu

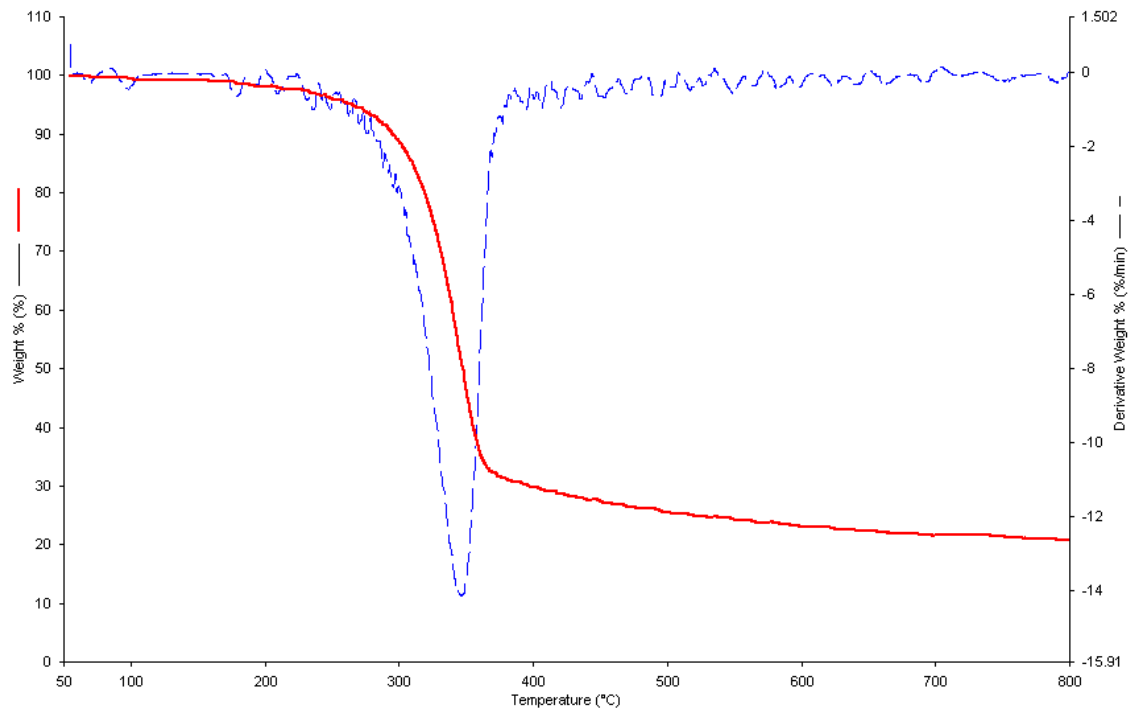
düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra $T_{\max}$: 579.1°C' ye ulaşıncaya kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Ardından nispeten daha yavaş gerçekleşen termal bozunum yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %39.09' luk bir kömürleşme artığı bırakmıştır. Meta – aramid lif jenerasyonuna ait bu yüksek performanslı lifin yapısındaki aromatik zincirler sayesinde termal stabilitesi oldukça yüksektir ve bu durum yapılan analiz sonucu yukarıda gösterilmiş grafikte birlikte çarpıcı biçimde ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.4. %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi.

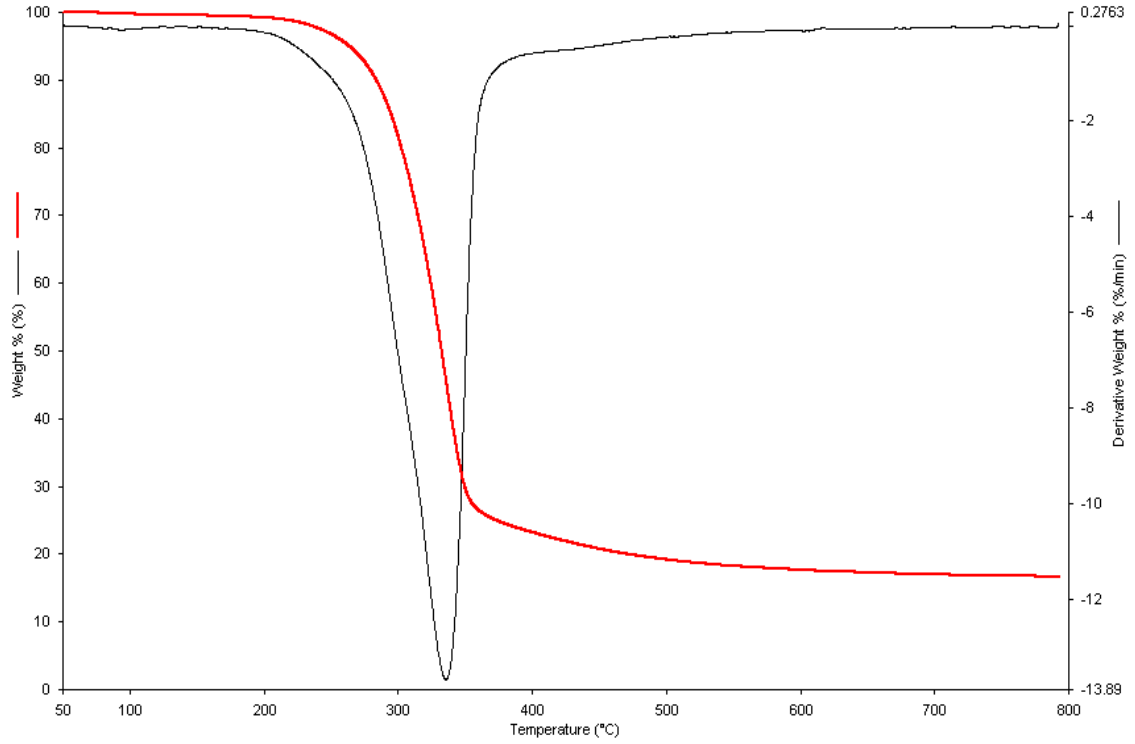
%50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karışım ipliğinin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması iki basamakta gerçekleşmiş ve karışımlı yapı 244.3°C' ye kadar kütlece nispeten kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.4). Bu sıcaklık değerinden itibaren kararlı yapı yerini hızlı biçimde termal indirgenmeye bırakarak $T_{\max}$: 262.5°C noktasında ilk basamaktaki maksimum kütle kaybına uğramıştır. Bu ana kadar karışımdaki Lenzing FR® kütlesinin büyük bir kısmını kaybetmiş daha sonra kütlesindeki kayıp hızı yavaşlayarak 538.2°C' ye kadar giderek çok daha düşük seviyelere inmiştir. Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Sıcaklıkla kütle

kaybındaki ilk basamak burada sona ererken, 530°C’ den itibaren termal bozunuma geçecek olan ve yapı kütlesinin yarısını karşılayan Kermel® lifiyle ikinci basamak kütle kaybına devam edilerek T_{max} : 579.5°C ile ikinci basamaktaki maksimum kütle kaybına ulaşılmıştır. Daha sonra karışımlı lif kütlesinin termal indirgenmesi zamanla yavaşlayarak yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde toplamda %41.12’ lik bir kömürleşme artığı bırakmıştır. Bu iplik karışımından elde edilen termal analiz sonucu göstermiştir ki hem termal konfor hem de yüksek termal stabilite fonksiyonu sağlaması açısından bu karışım efektif sonuçlar verebilecektir.



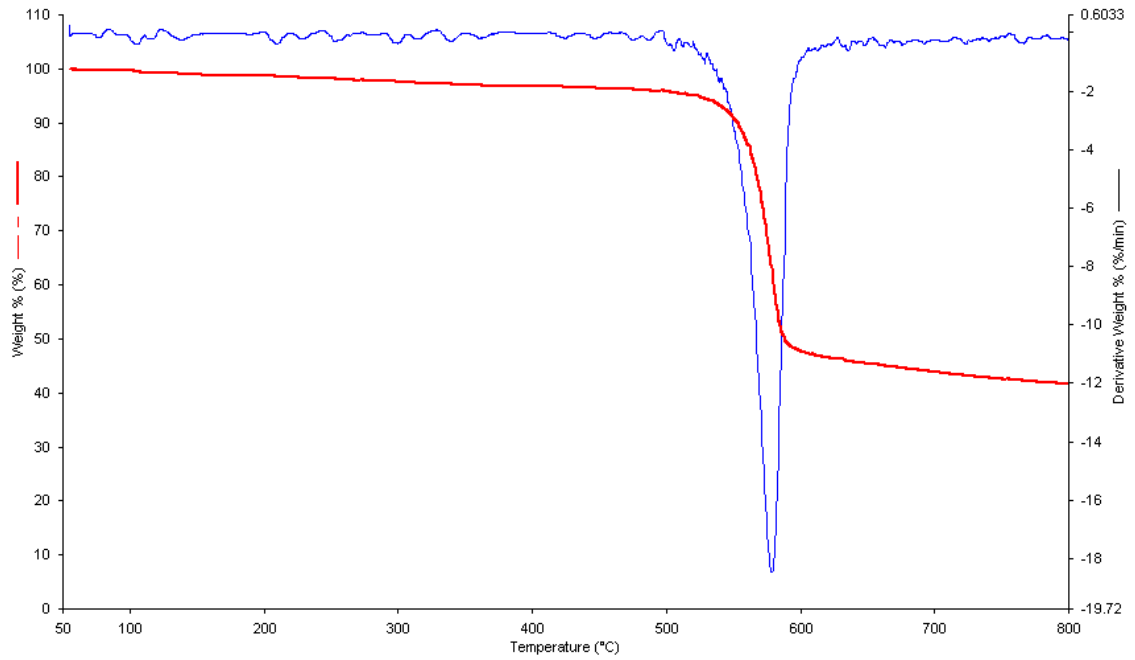
Şekil 3.5. %99/1 Pamuk/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi.

%99/1 Pamuk/karbon lifi karışım ipliğinin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 240.5°C’ ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.5). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütsel kaybın sebebi yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 346.8°C’ ye ulaşıncaya kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Ardından nispeten daha yavaş gerçekleşen termal bozunum 598.1°C’ den sonra selülozun tamamen yanması sonucu yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %20.71’ lik bir kömür artığı bırakmıştır.



Şekil 3.6. %99/1 Viskon/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi.

%99/1 Viskon/karbon lifi karışım ipliğinin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 244.4°C' ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.6). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütsel kaybın sebebi yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 335.6°C' ye ulaşınca kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Ardından nispeten daha yavaş gerçekleşen termal bozunum 598.1°C' den sonra selülozun tamamen yanması sonucu yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %16.63' lük bir kömür artığı bırakmıştır.



Şekil 3.7. %99/1 Twaron®/karbon lifi karışım ipliğinin TG/DTG eğrisi..

%99/1 Twaron®/karbon lifi karışım ipliğinin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 520.2°C' ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.7). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 578.5°C' ye ulaşıncaya kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Ardından nispeten daha yavaş gerçekleşen termal bozunum yapıda sadece ana kütle kalmasıyla deney sonucu gerisinde %43.69' luk bir kömürleşme artığı bırakmıştır. Para – aramid lif jenerasyonuna ait bu yüksek performanslı lifin yapısındaki aromatik zincirler sayesinde termal stabilitesi oldukça yüksektir ve bu durum yapılan analiz sonucu yukarıda gösterilmiş grafikte birlikte çarpıcı biçimde ortaya çıkmıştır.

ÜBBÖ kumaşların üretiminde kullanılan kompozit ipliklerden elde edilen termal analiz sonuçları göstermiştir ki hem termal konfor hem de yüksek termal stabilite fonksiyonu sağlaması açısından bu karışımlar efektif sonuçlar verecektir.

3.2.2. ÜBBÖ Kumaşların Güç Tutuşurluk Özelliği ve Termal Analizi

ÜBBÖ kumaşların termogravimetrik analizi sonucu elde edilen veriler ve grafikler aşağıda verilmiştir. Tablo 3.4' te numunelerin %5 kütle kaybı sıcaklığı ($T_{5\%}$), kütle

kabının maksimuma ulaştığı sıcaklık (T_{max}) ve 800°C sonunda malzemeden arta kalan kömür artığı yüzdeleriyle birlikte bu değerlerin sonucuna ışık tuttuğu, ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk performansının bir göstergesi olan sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) değerleri verilmiştir.

Tablo 3.4. ÜBBÖ kumaşların termal analiz ve güç tutuşurluk test sonuçları.

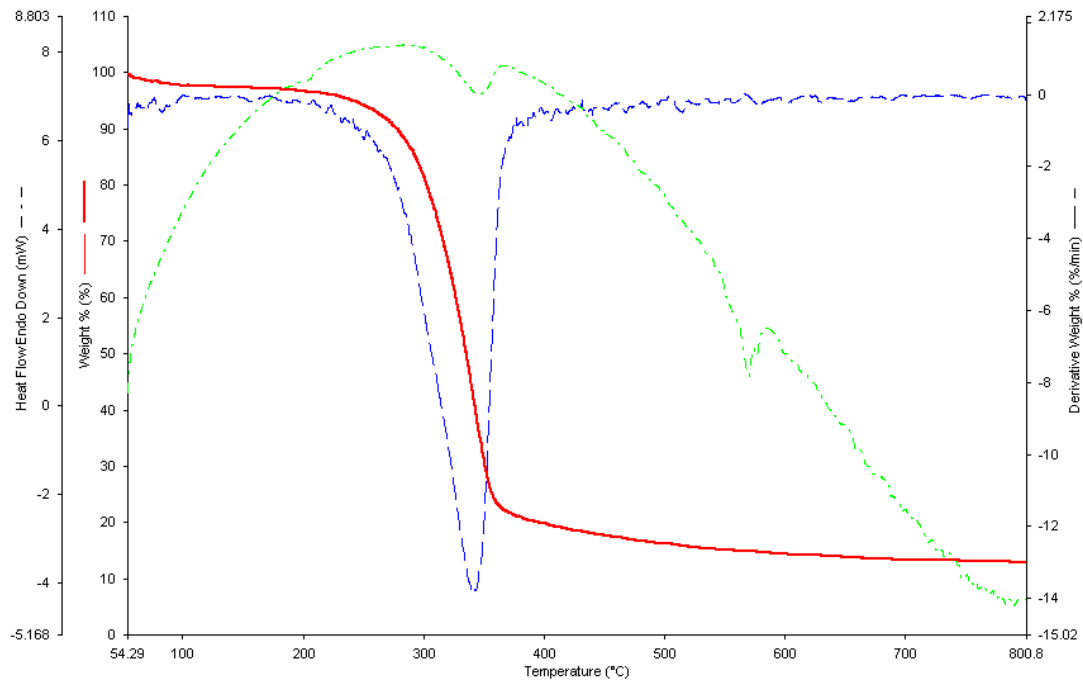
Kumaş Kodu	$T_{\%5}$ (°C)	T_{max} (°C)	800 °C' deki kömür artığı (%wt)	Sınırlayıcı oksijen indeksi LOI (%)
U1	240.7	340.4	12.88	20.5
U2	410.9	497.4	51.30	30.0
U3	260.6	267.4/510.7	40.42	28.8
U4	255.6	265.7/523.9	39.94	28.1
U5	324.9	346.9	19.32	19.8
U6	254.0	267.1	23.64	26.3
U7	251.8	265.3	27.21	26.0
U8	253.1	268.0	32.63	26.3
U9	253.9	267.2	23.64	26.7
U10	517.1	581.3	38.51	37.0
U11	293.3	343.3/579.0	32.26	27.2

* Sıcaklık değerleri “/” şeklinde ayrılan numuneler iki basamakta termal bozunmaya uğramış 1 nci ve 2 nci basamaklardaki T_{max} değerleri yazılmıştır.

Genelinin tek basamakta termal bozunuma uğradığı ÜBBÖ kumaşlardan bazılarının (U3, U4, U11) göreceli olarak iki basamakta termal bozunuma uğradığı görülmüştür (Tablo 3.4). Bu durum, ÜBBÖ kumaşların farklı bölgelerinde kullanılan kompozit ipliklerin içerdiği lif tipine bağlı olarak, bu liflerin gösterdiği termal davranışın farklı spektrumlarda olmasından kaynaklanmaktadır. Üretilen ÜBBÖ kumaşların termogravimetrik analizi sonucu elde edilen ilgili termal parametre değerleri aşağıda verilen ilgili kumaş TG/DTG eğrilerinde ayrıntılı bir biçimde tartışılmıştır.

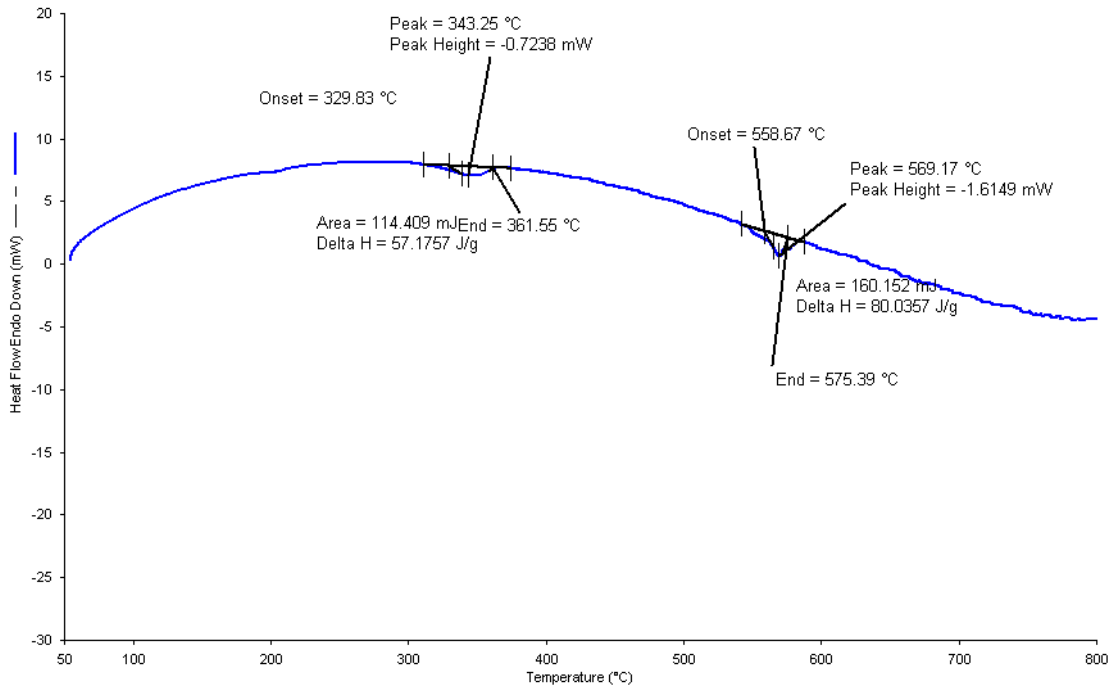
ÜBBÖ kumaşların termal analiz sonuçları (Tablo 3.4), deneysel çalışmada kullanılan kompozit ipliklerden elde edilen termal analiz sonuçları (Tablo 3.3) ile karşılaştırıldığında, her bölgesinde %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karışımı ipliği kullanılan U4 kodlu numunede, her bölgesinde %69/30/1 Lenzing FR®/Neylon FR®/karbon lifi karışımı U6 kodlu numunede ve her bölgesinde %85/14/1 Lenzing FR®/Neylon FR®/karbon lifi karışımı ipliği kullanılan U7 kodlu numunede ve her bölgesinde %99/1 Twaron®/karbon lifi karışımı ipliği kullanılan U10 kodlu numunede; ÜBBÖ kumaş ve kumaşlarda kullanılan kompozit ipliklerden elde edilen termal analiz sonuçları ($T_{5\%}$ ve T_{max} sıcaklık değerleri ve kömürleşme artışı) birbirine yakın değerler vermişlerdir. Ancak, U6 ve U10 kodlu kumaşlarda ÜBBÖ kumaş yapısının kömürleşme artışı oranını düşürdüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu numunelerde kullanılan kompozit ipliklerin ÜBBÖ kumaş yapısı içerisinde diğer ipliklere nazaran termal stabilitesini daha iyi muhafaza ettiği saptanmıştır.

ÜBBÖ kumaşlarda kullanılan liflerin kendilerine uygulanan ve zamanla yükselen ısıya karşı gösterdikleri termal davranışların (camsı geçiş, erime, kristallenme, bozunum buharlaşması vs.) ve bu davranışları hangi sıcaklık değerlerinde hangi değerlerle sağladıklarının tespiti için gerçekleştirilen DSC analizi test sonucu elde edilen ısı akış eğrileri de TG/DTG eğrileriyle kombine biçimde verilmiştir.



Şekil 3.8. U1 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

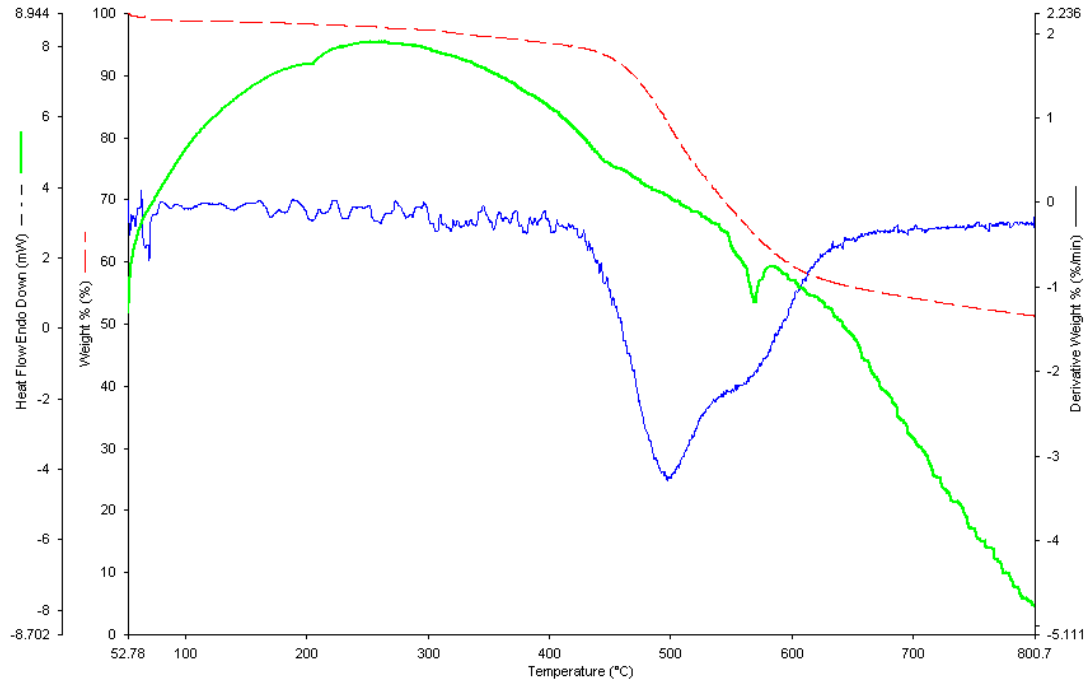
Her bölgesinde %99/1 viskon/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U1 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 223.4°C' ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.8). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütsel kaybın sebebi yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 340.4°C' ye ulaşıncaya kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Ardından nispeten daha yavaş gerçekleşen termal bozunum 569.6°C' den sonra selülozun tamamen yanması sonucu yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %12.88' lik bir kömür artığı bırakmıştır.



Şekil 3.9. U1 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

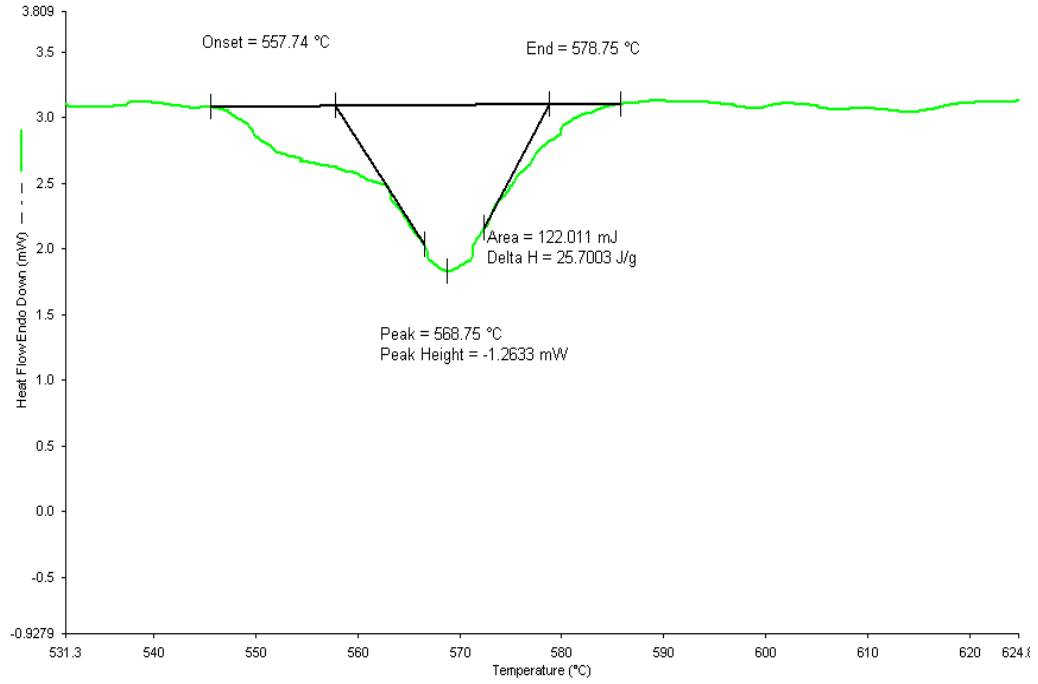
U1 kodlu numunenin DSC testinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapı sahip viskon lifinden üretilme ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışında endotermik reaksiyon şeklinde gerçekleşen iki ayrı değişim tespit edilmiştir (Şekil 3.9). İlkini viskonun bozunumunun hızlı biçimde gerçekleştiği sıcaklık bölgesi içerisinde 329.83°C' de başlayıp, 361.55°C' de biten ve yaklaşık olarak 343.25°C noktasında maksimuma ulaşan; bu esnada yapıdan 57.18 J/g' lık ısı enerjisi alan; ikincisinin ise, 558.67°C' de başlayıp, 575.39°C' de biten ve yaklaşık olarak 569.17°C noktasında maksimuma ulaşan; bu esnada yapıdan 80.04 J/g' lık ısı enerjisi alan iki ayrı bozunum buharlaşması meydana geldiği

düşünülmektedir. Eldeki bu pikler malzemede ilgili sıcaklık değerlerinde termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



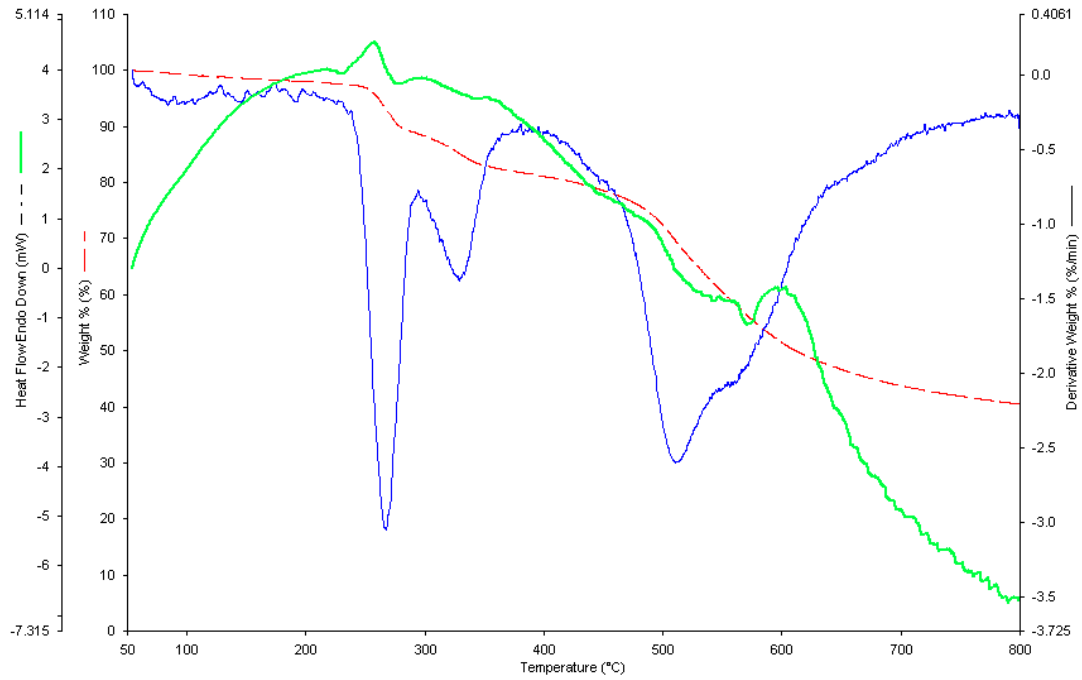
Şekil 3.10. U2 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

Her bölgesinde %99/1 Kermel®/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U2 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 399.3°C' ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.10). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebi yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 497.4°C' ye ulaşınca kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Ardından nispeten daha yavaş gerçekleşen termal bozunum yapıda sadece ana kütle kalmasıyla deney sonucu gerisinde %51.30' luk bir kömürleşme artığı bırakmıştır. Kumaşın içerdiği Kermel® lifi, meta – aramid lif jenerasyonuna ait, yapısındaki aromatik zincirler sayesinde termal stabilitesi oldukça yüksek olan, yüksek performanslı bir lif türüdür. Bu durum yapılan analiz sonucu yukarıda gösterilmiş grafikte birlikte açıkça ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.11. U2 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

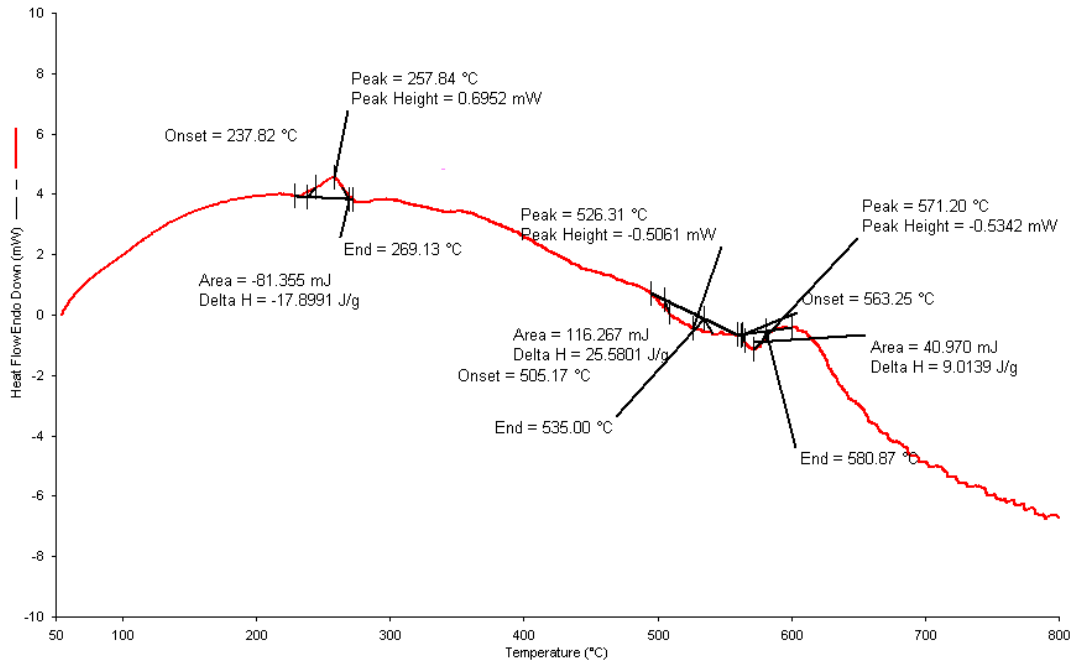
U2 kodlu numunenin DSC testinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Kermel® lifinden üretilme ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışında endotermik bir değişim meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.11). Isı akışındaki değişimi gösteren pikin, Kermel® lifinin bozunumunun hızlı biçimde gerçekleştiği sıcaklık bölgesi içerisinde 557.74°C’ de başlayıp, 578.75°C’ de biten ve yaklaşık olarak 568.75°C noktasında maksimuma ulaşan bir bozunum buharlaşmasını gösterdiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 25.70 J/g’ lık bir ısı enerjisi alınarak nispeten düşük seviye gerçekleşen ısı akışı değişimini ifade eden pik, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.12. U3 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

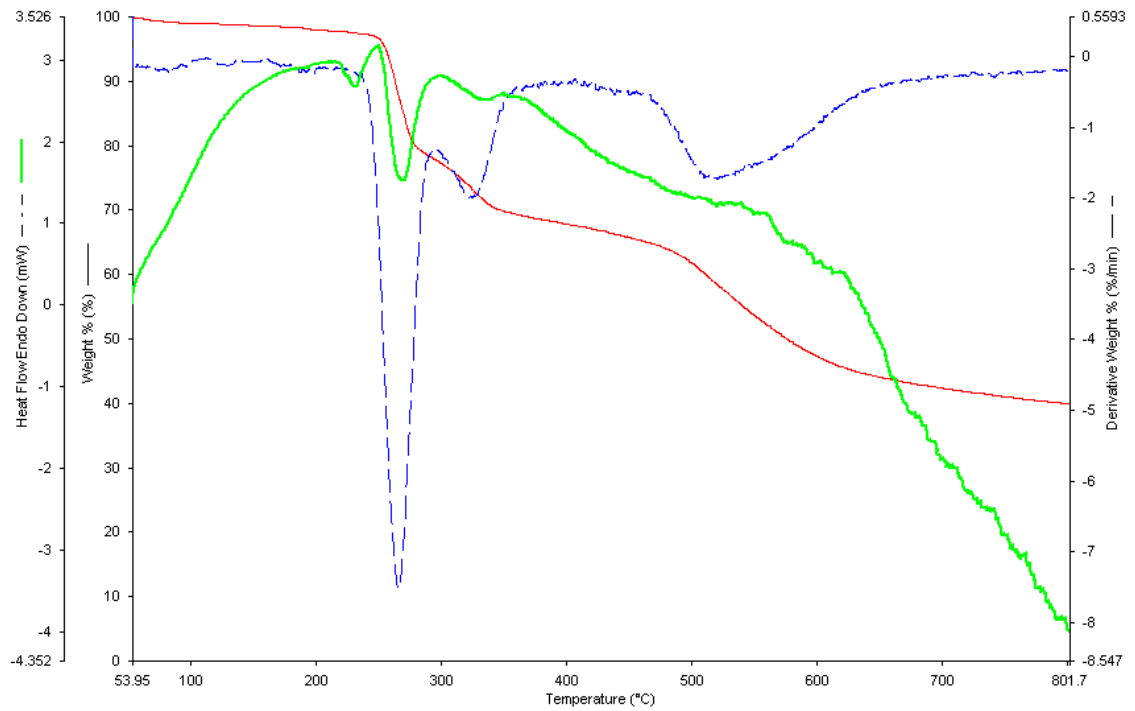
Ön yüzünde %99/1 Kermel®/karbon lifi karışımı iplik, diğer tüm bölgelerinde %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U3 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması iki basamakta gerçekleşmiş ve kumaş yapısının 242.5°C' ye kadar kütlece nispeten kararlı olduğu görülmüştür (Şekil 3.12). Bu sıcaklık değerinden itibaren kararlı yapı yerini hızlı biçimde termal indirgenmeye bırakarak T_{max} : 267.4°C noktasında ilk basamaktaki maksimum kütle kaybına uğramıştır. Bu ana kadar kumaştaki Lenzing FR® kütlesinin büyük bir kısmı kaybolmuş ve daha sonra kütledeki kayıp hızı yavaşlayarak giderek çok daha düşük seviyelere inmiştir. Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Sıcaklıkla kütle kaybındaki ilk basamak burada sona ererken, kumaş yapı kütlesinin yaklaşık 5/8' ini karşılayan Kermel® lifiyle ikinci basamak kütle kaybına devam edilerek T_{max} : 510.7°C ile ikinci basamaktaki maksimum kütle kaybına ulaşılmıştır. Daha sonra karışımli lif kütlesinin termal indirgenmesi zamanla yavaşlayarak yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde toplamda %40.42' lik bir kömürleşme artığı bırakmıştır. Yapı içerisinde yüksek orandaki Kermel® lifi grafikten de görüleceği üzere kumaşın termal bozunum spektrumunu genişletmiştir. Böylece iki yüzü birbirinden farklı U3 kodlu kumaştan elde edilen termal analiz sonucu göstermiştir ki hem termal

konfor hem de yüksek termal stabilite fonksiyonu sağlaması açısından bu kumaş efektif sonuçlar verebilecektir.



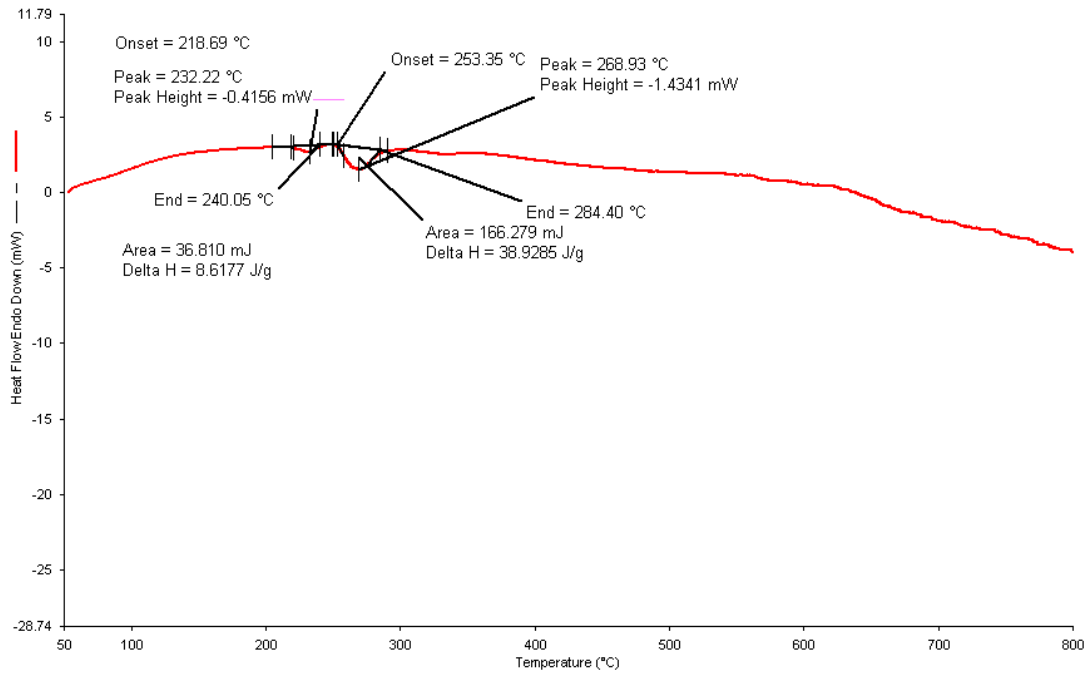
Şekil 3.13. U3 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

U3 kodlu numunenin DSC testinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Kermel® ve Lenzing FR® liflerinden üretilme ÜBBÖ kumaşın ihtiva ettiği liflerin hızlı biçimde bozunuma uğradığı sıcaklık bölgesi içerisinde ısı akışında biri ekzotermik diğeri endotermik değişimler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.13). Ekzotermik reaksiyon şeklinde gerçekleşen ısı akışındaki ilk değişimde; Lenzing FR® lifinin hızlıca bozunduğu sıcaklık bölgesi dâhilinde, 237.82°C' de başlayıp, 269.13°C' de biten ve yaklaşık 257.84°C noktasında maksimuma ulaşan ve nispeten düşük seviyede gerçekleşen bir kristallenme meydana gelmiştir. Bu esnada yapıdan 17.90 J/g' lık bir ısı enerjisi salındığı tespit edilmiştir. İkinci olarak kumaş yapısındaki Kermel® lifi hızla bozunurken 563.25°C' de başlayıp, 580.87°C' de biten ve yaklaşık 571.20°C noktasında maksimuma ulaşan ısı akışındaki değişimle nispeten düşük seviyede bir bozunum buharlaşması meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 9.01 J/g' lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. Isı akışı değişimini ifade eden pikler, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.14. U4 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

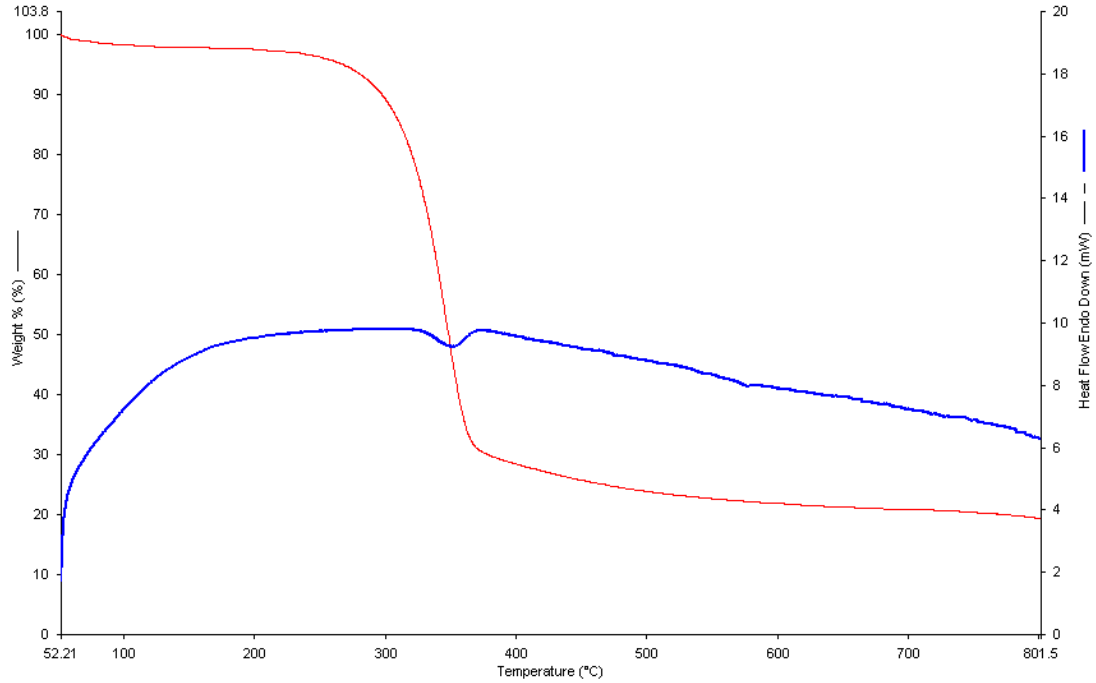
Her bölgesinde %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U4 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması göreceli olarak iki basamakta gerçekleşmiş ve kumaş yapısının 240.4°C' ye kadar kütlece nispeten kararlı olduğu görülmüştür (Şekil 3.14). Bu sıcaklık değerinden itibaren kararlı yapı yerini hızlı biçimde termal indirgenmeye bırakarak T_{max} : 265.7°C noktasında ilk basamaktaki maksimum kütle kaybına uğramıştır. Bu ana kadar kumaş kütlelerinin yaklaşık yarısını karşılayan Lenzing FR® lifi kütlelerinin büyük bir kısmı kaybolmuştur. Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Sıcaklıkla kütle kaybındaki ilk basamak burada sona ererken, kumaş kütlelerinin yarısını karşılayan Kermel® lifiyle ikinci basamak kütle kaybına devam edilerek T_{max} : 523.9°C ile ikinci basamaktaki maksimum kütle kaybına ulaşılmıştır. Daha sonra kumaştaki lif kütlelerinin termal indirgenmesi zamanla yavaşlayarak yapıda sadece ana kütle kalmasıyla deney sonucu gerisinde toplamda %39.94' lük bir kömürleşme artığı bırakmıştır. Böylece U4 kodlu kumaştan elde edilen termal analiz sonucu göstermiştir ki hem termal konfor hem de yüksek termal stabilite fonksiyonu sağlaması açısından bu kumaş efektif sonuçlar verebilecektir.



Şekil 3.15. U4 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

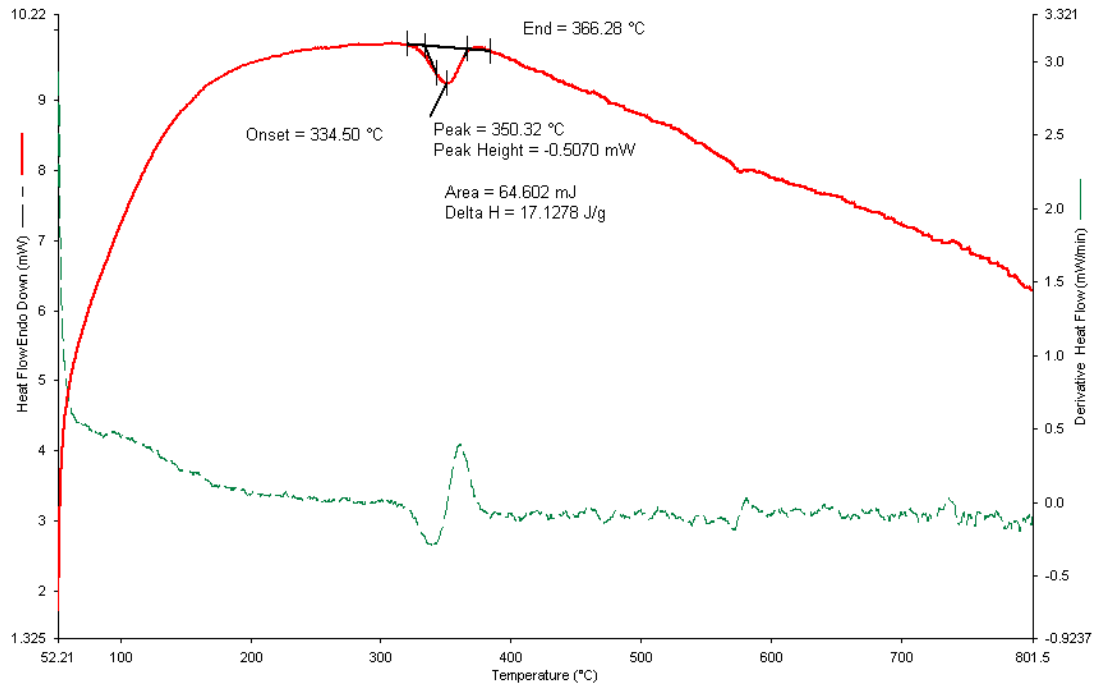
U4 kodlu numunenin DSC testinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Kermel® ve Lenzing FR® liflerinden üretilme ÜBBÖ kumaşa, Lenzing FR® lifinin hızlı biçimde bozunuma uğradığı sıcaklık bölgesi içerisinde ısı akışında değişimler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.15). Endotermik bir reaksiyon şeklinde gerçekleşen ısı akışındaki bu değişimlerin; ilgili sıcaklık değerlerinde meydana gelen bozunum buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlk olarak, Lenzing FR® lifinin termal açıdan nispeten kararlı yapısından sıyrılıp hızlıca bozunmaya başladığı sıcaklık bölgesi dâhilinde, 218.69°C’ de başlayıp, 240.05°C’ de biten ve yaklaşık 232.22°C noktasında maksimuma ulaşan, fakat diğerine oranla düşük seviyede gerçekleşen bir bozunum buharlaşması meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 8.62 J/g’ lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. İkinci olarak kumaş yapısındaki Lenzing FR® lifi hızla bozunurken 253.35°C’ de başlayıp, 284.40°C’ de biten ve yaklaşık 268.93°C noktasında maksimuma ulaşan ısı akışındaki değişimle başka bir bozunum buharlaşması daha meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 38.93 J/g’ lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. Isı akışında ikinci pik bölgesindeki değişim ilk değişimin yaklaşık 4.5 – 5 katı seviyede gerçekleşmiştir. Bu durum, Lenzing FR® lifinin o sıcaklık değerleri içerisinde kaybettiği kütlesinin ilk değişime nazaran çok daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Isı akışı değişimini ifade eden pikler, ilgili

sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



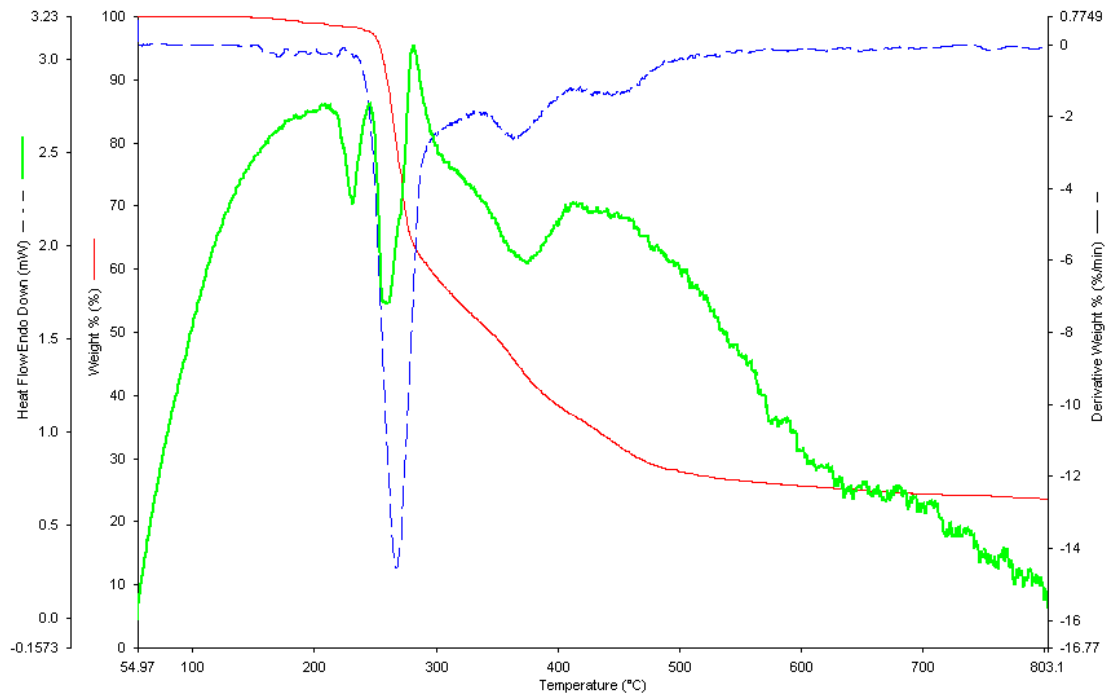
Şekil 3.16. U5 kodlu kumaşın TG ve DSC eğrileri.

Her bölgesinde %99/1 pamuk/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U5 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 242.4°C' ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.16). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 346.9°C' ye ulaşıncaya kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır (Şekil 3.17). Ardından nispeten daha yavaş gerçekleşen termal bozunum 481.3°C' den sonra selülozun tamamen yanması sonucu yapıda sadece ana kütle kalmasıyla deney sonucu gerisinde %19.32' lik bir kömür artığı bırakmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.17. U5 kodlu kumaşının DTG eğrisi ve DSC eğrisinin pik detayı.

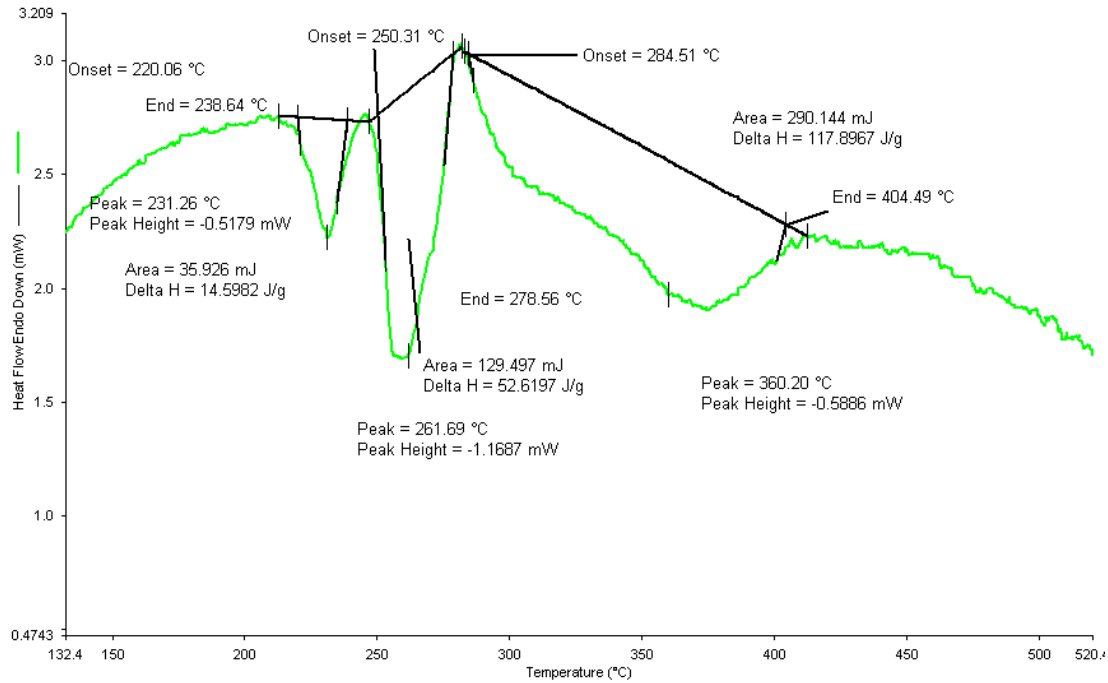
U5 kodlu DSC numunesinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip pamuk lifinden üretilme ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışında bir değişim meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.17). Endotermik reaksiyon şeklinde gerçekleşen bu değişimin, termal bozunumun hızlı biçimde gerçekleştiği sıcaklık değerine yakın değerlerde 334.50°C’ de başlayıp, 366.28°C’ de biten ve yaklaşık olarak 350.32°C noktasında maksimuma ulaşan bir bozunum buharlaşmasından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir. Meydana gelen pikin derinliğinden de görüleceği üzere ısı akışındaki bu değişim oldukça düşük seviyede gerçekleşmiştir. Bu esnada yapıdan 17.13 J/g’ lık bir ısı enerjisi alınarak gerçekleşen ısı akışı değişimini ifade eden pik, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.18. U6 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

Her bölgesinde %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U6 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve kumaş yapısının 246.2°C' ye kadar kütlece kararlı olduğu görülmüştür (Şekil 3.18). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu değerden sonra T_{max} : 267.1°C noktasına kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Bu ana kadar kumaşın ihtiva ettiği Lenzing FR® lif miktarının çoğu bozunmuş ve poliamid 66 grubuna ait yapıda az miktarda bulunan Nexylon FR® lifinin bir bölümü bozunmaya başlamıştır. Ardından yapıdaki kütlesinin büyük bir kısmını kaybetmiş ve daha sonra giderek yavaşlayacak Lenzing FR® lifinin kütle kaybı, yerini Nexylon FR® lifinin hızlı biçimde termal degradasyonuna bırakmış ve yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %23.64' lük bir kömürleşme artığı kalmıştır. Yaklaşık 250°C' den daha yüksek sıcaklıklarda termal indirgenmeye maruz kalacak ve bozunumu Lenzing FR® lifinden daha geniş sıcaklık spektrumunda gerçekleşecek olan Nexylon FR® lif miktarının bu kumaşta diğer kumaşlara oranla daha fazla olması; kumaşın bozunum sıcaklık aralığını genişletmiştir. Böylece, U6 kodlu kumaşın termal analiz sonucu hem iyi bir termal konfor hem de

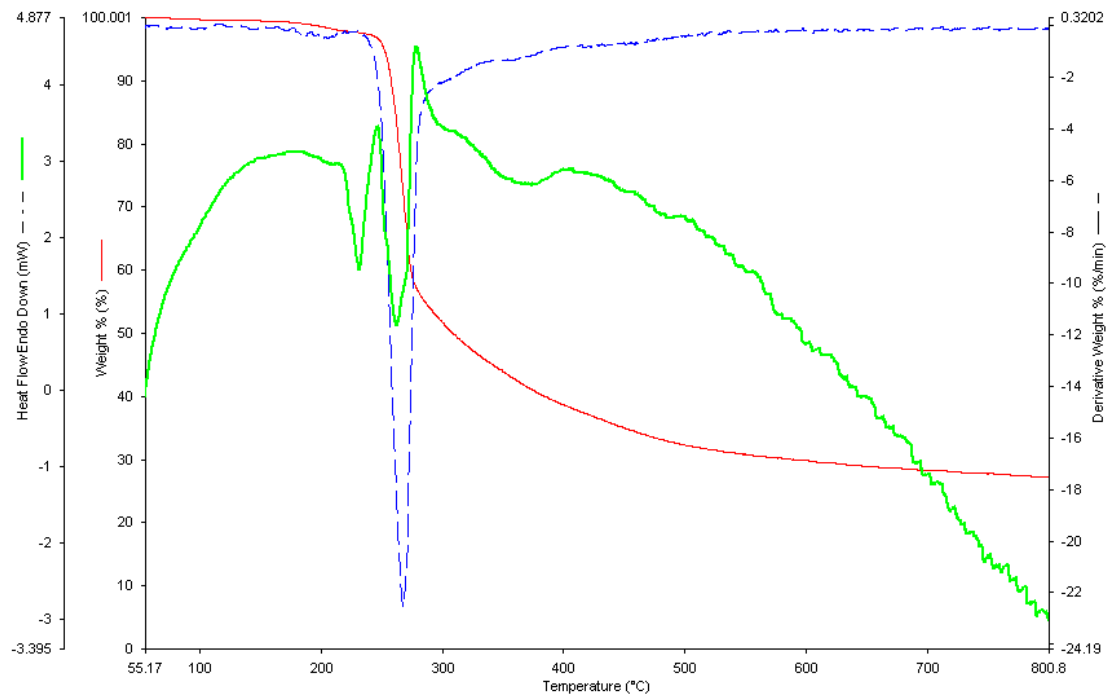
yüksek termal stabilite sağlanması bakımından bu kumaşın iyi sonuçlar verebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 3.19. U6 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

U6 kodlu DSC numunesinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Lenzing FR® ile Nexylon FR® lifinin karışımıyla üretilen ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışında, kumaşın ihtiva ettiği liflerin hızlı biçimde bozunuma uğradığı sıcaklık bölgeleri içerisinde ardı ardına değişimler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.19). Endotermik reaksiyonlar şeklinde gerçekleşen ısı akışındaki bu değişimlerin; ilgili sıcaklık değerlerinde meydana gelen bozunum buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlk olarak, Lenzing FR® lifinin termal açıdan nispeten kararlı yapısından sıyrılıp hızlıca bozunmaya başladığı sıcaklık bölgesi dâhilinde, 220.06°C’ de başlayıp, 238.64°C’ de biten ve yaklaşık 231.26°C noktasında maksimuma ulaşan ve diğerine göre düşük seviyede gerçekleşen bir bozunum buharlaşması meydana gelmiştir. Bu esnada yapıdan 14.59 J/g’ lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. İkinci olarak kumaş yapısındaki Lenzing FR® lifi hızla bozunurken ve yapıdaki Nexylon FR® lifi kütlelerinin kaybetmeye başlarken 250.31°C’ de başlayıp, 278.56°C’ de biten ve yaklaşık 261.69°C noktasında maksimuma ulaşan ısı akışındaki değişimle bir

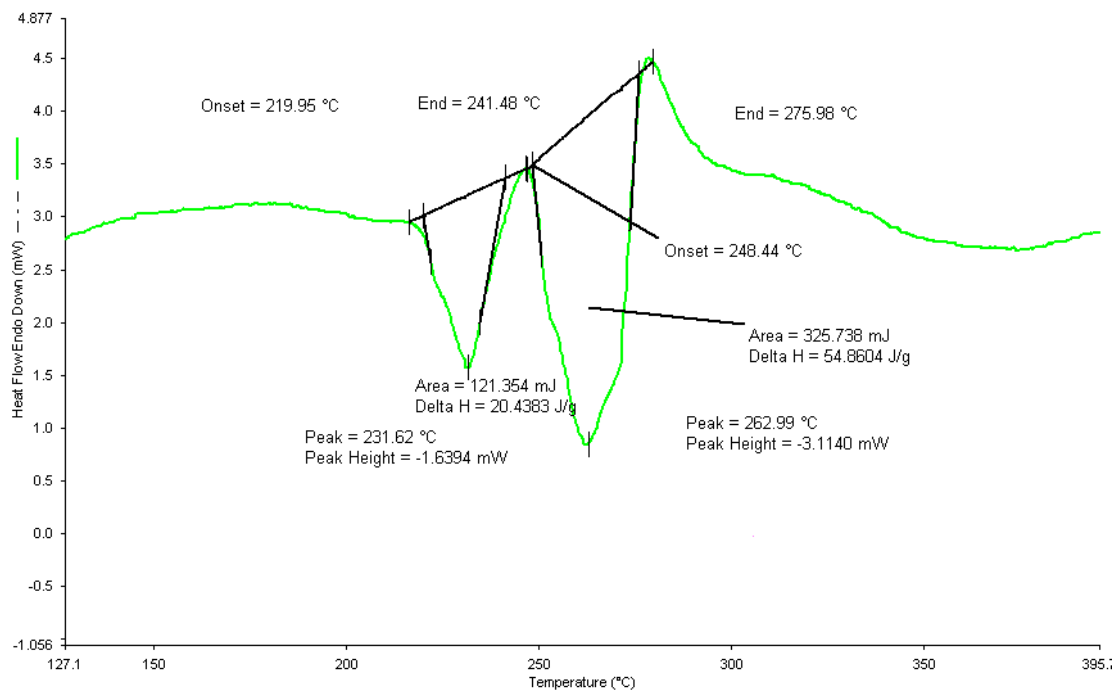
bozunum buharlaşması daha meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 52.62 J/g'lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. Bu değişimin hemen akabinde yapıdaki Nexylon FR® lifinin hızlı biçimde bozunduğu sıcaklık bölgesi dâhilinde, 284.51°C' de başlayıp, 404.49°C' de biterek geniş bir bölgeye yayılan ve yaklaşık 360.20°C noktasında maksimuma ulaşan ısı akışındaki değişimle bir başka bozunum buharlaşması daha meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada da yapıdan; 117.90 J/g'lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. Isı akışı değişimini ifade eden pikler, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.20. U7 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

Her bölgesinde %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U7 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve kumaş yapısının 242.1°C'ye kadar kütlece nispeten kararlı olduğu görülmüştür (Şekil 3.20). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütleli kayıp sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. En yüksek bozunma hızına ulaşılan T_{max} : 265.3°C noktasına kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Bu ana kadar kumaştaki Lenzing FR® lif miktarının çoğu bozunmuş ve poliamid 66 grubuna ait

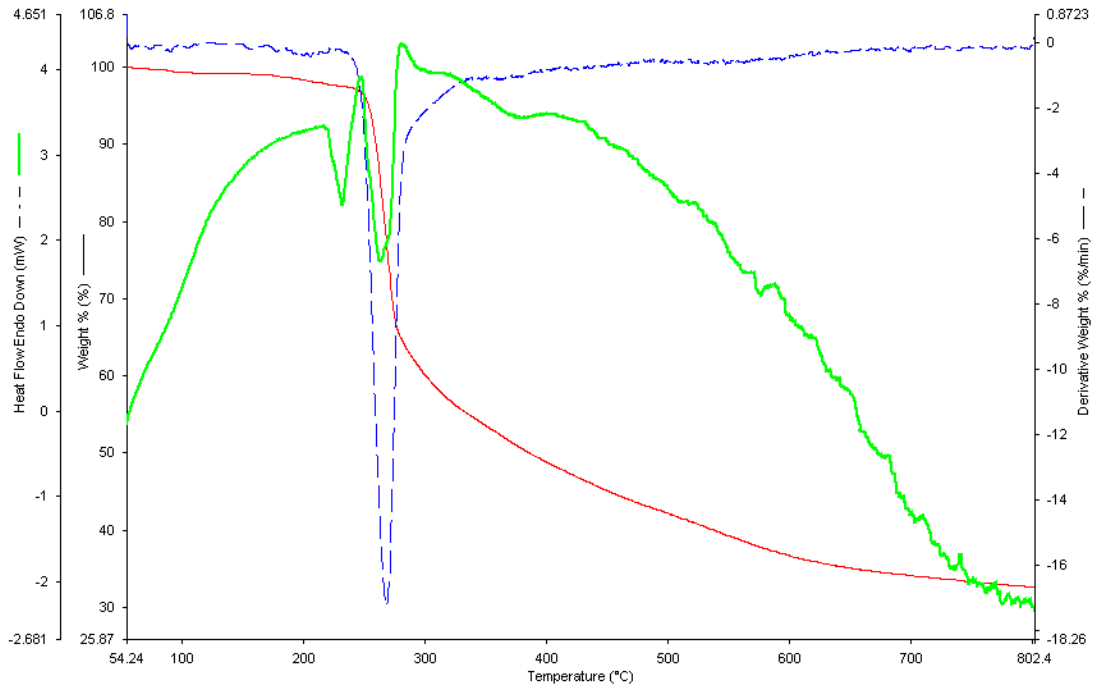
yapıda az miktarda bulunan Nexylon FR® lifinin bir kısmı bozunmaya başlamıştır. Ardından daha geniş spektruma yayılan az miktardaki Lenzing FR® ve Nexylon FR® lif kütlelerinin termal indirgenmesi zamanla yavaşlayarak yapıda sadece ana kütle kalmasıyla deney sonucu gerisinde %27.21' lik bir kömürleşme artışı bırakmıştır. Böylece, U7 kodlu kumaşın termal analiz sonucu hem iyi bir termal konfor hem de yüksek termal stabilite bakımından bu kumaşın iyi sonuçlar verebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 3.21. U7 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

U7 kodlu DSC numunesinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Lenzing FR® ile Nexylon FR® lifinin karışımıyla üretilen ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışında, kumaşın ihtiva ettiği liflerin hızlı biçimde bozunuma uğradığı sıcaklık bölgesi içerisinde değişimler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.21). Endotermik bir reaksiyon şeklinde gerçekleşen ısı akışındaki bu değişimlerin; ilgili sıcaklık değerlerinde meydana gelen bozunum buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlk olarak, Lenzing FR® lifinin termal açıdan nispeten kararlı yapısından sıyrılıp hızlıca bozunmaya başladığı sıcaklık bölgesi dâhilinde, 219.95°C' de başlayıp, 241.48°C' de biten ve yaklaşık 231.62°C noktasında maksimuma ulaşan ve

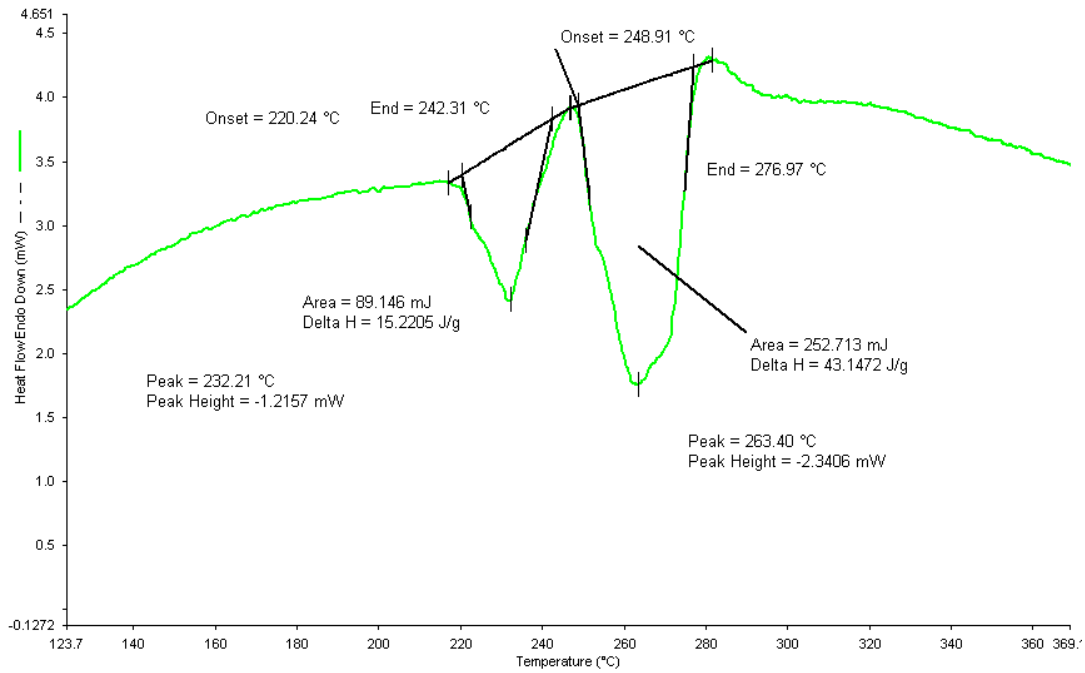
diğerine göre düşük seviyede gerçekleşen bir bozunum buharlaşması meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 20.45 J/g'lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. İkinci olarak kumaş yapısındaki Lenzing FR® lifi hızla bozunurken ve yapıdaki Nexylon FR® lifi kütesinin kaybetmeye başlarken 248.44°C' de başlayıp, 275.98°C' de biten ve yaklaşık 262.99°C noktasında maksimuma ulaşan ısı akışındaki değişimle başka bir bozunum buharlaşması daha meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 54.86 J/g'lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. Isı akışında ikinci pik bölgesindeki değişim ilk değişimin yaklaşık 2.5 katı seviyede gerçekleşmiştir. Bu durum, Lenzing FR® lifinin o sıcaklık değerleri içerisinde kaybettiği kütesinin ilk değişime nazaran çok daha yüksek olmasından ve kumaş bünyesinde kütlece daha az oranda bulunan Nexylon FR® lifinin de kütesini kaybetmeye başlamasından kaynaklanmaktadır. Isı akışı değişimini ifade eden pikler, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.22. U8 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

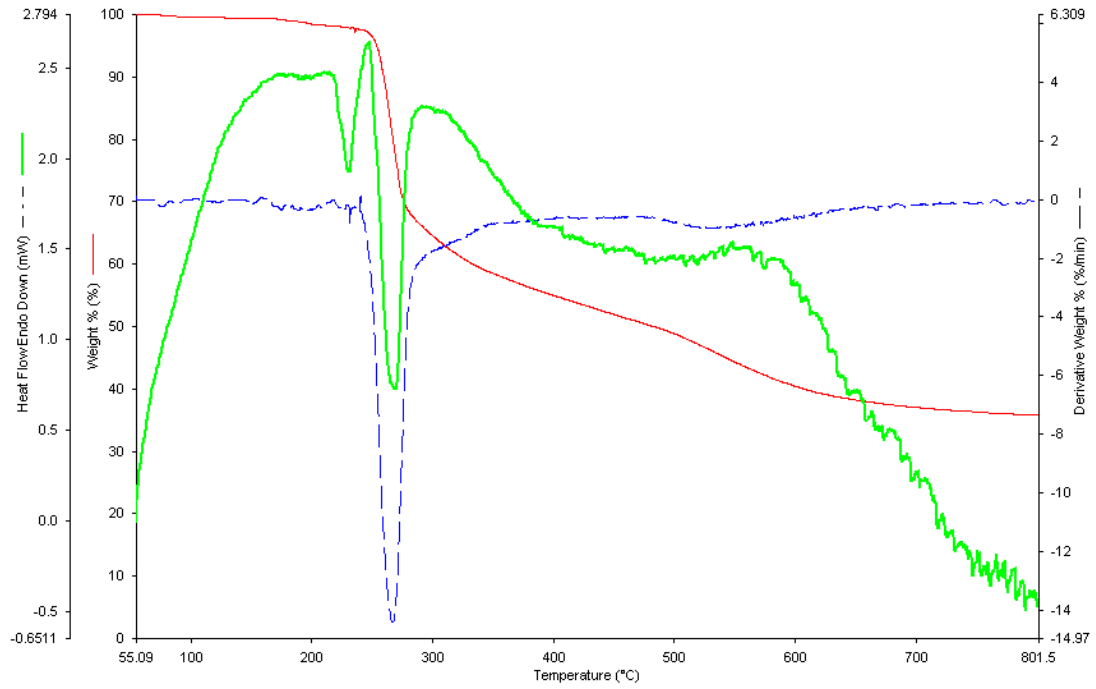
Ön yüzünde %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karşımı iplik, diğer tüm bölgelerinde ise %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karşım ipliği kullanılarak üretilmiş U8 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 240.2°C' ye kadar kütlece kararlı

yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.22). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütleli kaybın sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 268.0°C' ye ulaşmaya kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Bu ana kadar kumaştaki Lenzing FR® lif miktarının çoğu bozunmuş ve poliamid 66 grubuna ait yapıda az miktarda bulunan Nexylon FR® lifinin bir kısmı bozunmaya başlamıştır. Ardından yapıda az miktarda kalan Lenzing FR® ve bozunumu devam etmekte olan Nexylon FR® lif kütlesinin termal indirgenmesi zamanla yavaşlamış ve yerini yaklaşık 500°C civarında yapıdaki Kermel® lifinin bozunumuna bırakmıştır. Bu noktadan sonra hızlı biçimde Kermel® lifinin degradasyonu gerçekleşirken, Lenzing FR® lifine oranla termal stabilitesi nispeten daha yüksek olan Nexylon FR® lifi ve sahip olduğu aromatik zincir yapısı sayesinde, kullanılan lifler arasında en yüksek termal stabiliteye sahip iki liften biri olan Kermel® lifi, kumaşın bozunum sıcaklık aralığını oldukça genişletmiştir. Daha sonra kumaş, sıcaklığın çok daha yüksek değerlere çıkmasıyla birlikte yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %32.63' lük bir kömür artığı bırakmıştır. Böylece, U8 kodlu kumaşın termal analiz sonucu, hem iyi bir termal konfor hem de yüksek termal stabilite bakımından bu kumaşın iyi sonuçlar verebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 3.23. U8 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

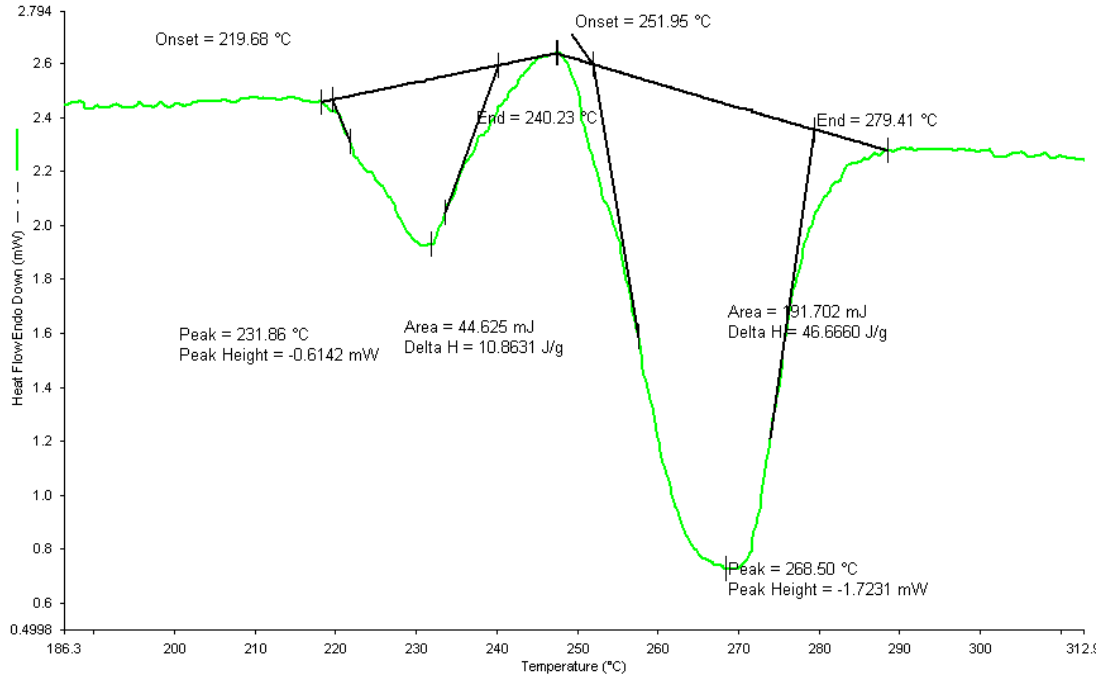
U8 kodlu DSC numunesinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Kermel® ve Lenzing FR® lifleriyle, Nexylon FR® lifinin karışımıyla üretilen ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışında, endotermik reaksiyon şeklinde değişimler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.23). Bu değişimlerin; kumaşın ihtiva ettiği Lenzing FR® ve Nexylon FR® liflerinin hızlı biçimde bozunuma uğradığı sıcaklık bölgesi içerisinde meydana gelen bozunum buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlk olarak, Lenzing FR® lifinin termal açıdan nispeten kararlı yapısından sıyrılıp hızlıca bozunmaya başladığı sıcaklık bölgesi dâhilinde, 220.24°C’ de başlayıp, 242.31°C’ de biten ve yaklaşık 232.21°C noktasında maksimuma ulaşan ve diğerine göre düşük seviyede gerçekleşen bir bozunum buharlaşması meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 15.22 J/g’ lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. İkinci olarak kumaş yapısındaki Lenzing FR® lifi hızla bozunurken ve yapıdaki Nexylon FR® lifi kütlesinin kaybetmeye başlarken; 248.91°C’ de başlayıp, 276.97°C’ de biten ve yaklaşık 263.40°C noktasında maksimuma ulaşan ısı akışındaki değişimle başka bir bozunum buharlaşması daha meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 43.15 J/g’ lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. Isı akışında ikinci pik bölgesindeki değişim ilk değişimin yaklaşık 3 katı seviyede gerçekleşmiştir. Bu durum, Lenzing FR® lifinin o sıcaklık değerleri içerisinde kaybettiği kütlesinin ilk değişime nazaran çok daha yüksek olmasından ve kumaş bünyesinde kütlece daha az oranda bulunan Nexylon FR® lifinin de kütlesini kaybetmeye başlamasından kaynaklanmaktadır. Isı akışı değişimini ifade eden pikler, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.24. U9 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

Ön yüzünde ve hav ipliklerinin birisinde %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karşılımlı iplik, arka yüzü ve hav ipliğinin diğerinde %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U9 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 245.4°C' ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.24). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 267.2°C' ye ulaşınca kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Bu ana kadar kumaştaki Lenzing FR® lif miktarının çoğu bozunmuş ve poliamid 66 grubuna ait yapıda az miktarda bulunan Nexylon FR® lifinin bir kısmı bozunmaya başlamıştır. Ardından yapıda az miktarda kalan Lenzing FR® ve bozunumu devam etmekte olan Nexylon FR® lif kütlesinin termal indirgenmesi zamanla yavaşlamış ve yerini yaklaşık 500°C civarında yapıdaki Kermel® lifinin bozunumuna bırakmıştır. Bu noktadan sonra hızlı biçimde Kermel® lifinin degradasyonu gerçekleşmeye başlamıştır. Daha sonra kumaş, sıcaklığın çok daha yüksek değerlere çıkmasıyla birlikte yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %23.64' lük bir kömür artığı bırakmıştır. Yapısında U8 kodlu kumaşa oranla daha çok Kermel® lifi barındıran bu kumaş, Nexylon FR® lifinin katkısının yanı sıra Kermel® lifinin yüksek termal kararlılığı ve

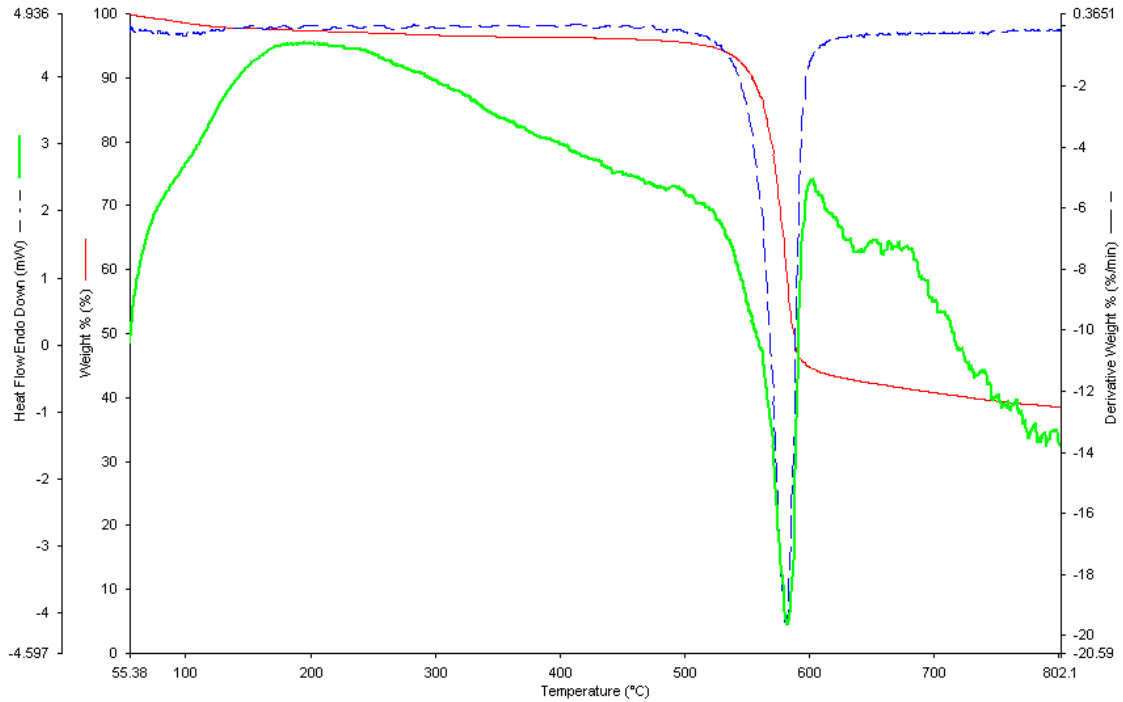
bu lifi diğerine göre daha çok ihtiva etmesi sayesinde, bozunumunun o kumaşa nispeten daha yavaş ve geniş sıcaklık aralığında gerçekleştiği görülmüştür. Böylece, U9 kodlu kumaşın termal analiz sonucu hem iyi bir termal konfor hem de yüksek termal stabilite bakımından bu kumaşın iyi sonuçlar verebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 3.25. U9 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

U9 kodlu DSC numunesinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Kermel® ve Lenzing FR® lifleri ile Nexylon FR® lifinin karışımıyla üretilen ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışında endotermik reaksiyon şeklinde değişimler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.25). Bu değişimlerin kumaşın ihtiva ettiği Lenzing FR® ve Nexylon FR® liflerinin hızlı biçimde bozunuma uğradığı sıcaklık bölgesi içerisinde meydana gelmiş bir bozunum buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlk olarak, Lenzing FR® lifinin termal açıdan nispeten kararlı yapısından sıyrılıp hızlıca bozunmaya başladığı sıcaklık bölgesi dâhilinde, 219.68°C’ de başlayıp, 240.23°C’ de biten ve yaklaşık 231.86°C noktasında maksimuma ulaşan ve diğerine nispeten düşük seviyede gerçekleşen bir bozunum buharlaşması meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 10.86 J/g’ lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. İkinci olarak kumaş yapısındaki Lenzing FR® lifi hızla bozunurken ve yapıdaki Nexylon FR® lifi

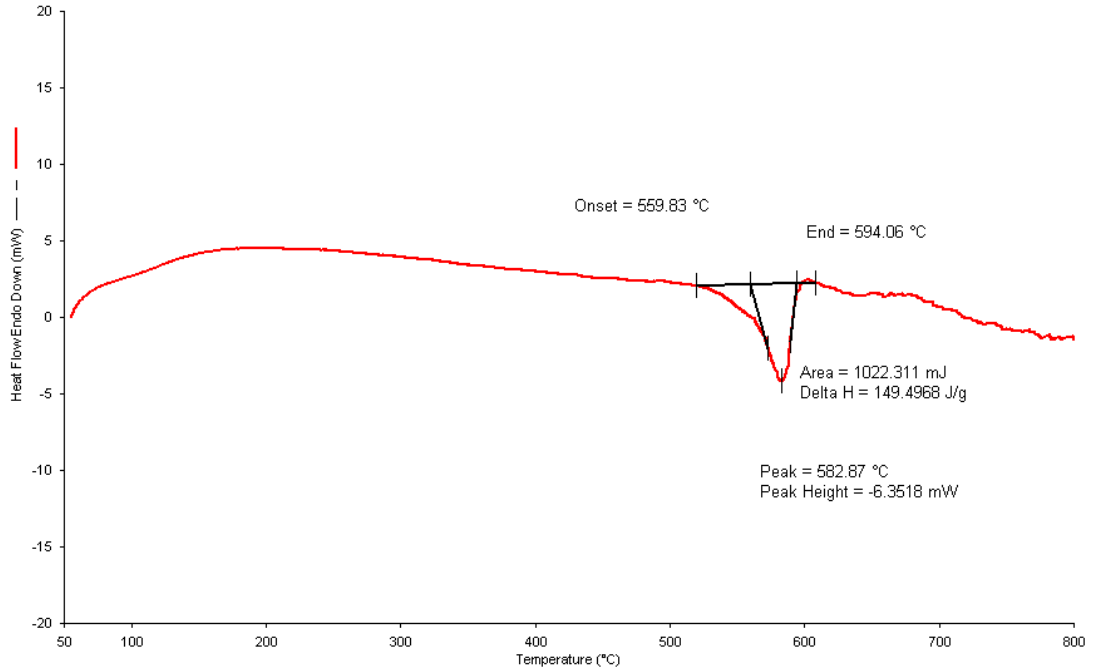
kütlesinin kaybetmeye başlarken 251.95°C’ de başlayıp, 279.41°C’ de biten ve yaklaşık 268.50°C noktasında maksimuma ulaşan ısı akışındaki değişimle başka bir bozunum buharlaşması daha meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 46.66 J/g’ lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. Isı akışında ikinci pik bölgesindeki değişim ilk değişimin yaklaşık 4 katı seviyede gerçekleşmiştir. Bu durum, Lenzing FR® lifinin o sıcaklık değerleri içerisinde kaybettiği kütlesinin ilk değişime nazaran çok daha yüksek olmasından ve kumaş bünyesinde kütlece daha az oranda bulunan Nexylon FR® lifinin de kütlesini kaybetmeye başlamasından kaynaklanmaktadır. Isı akışı değişimini ifade eden pikler, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.26. U10 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

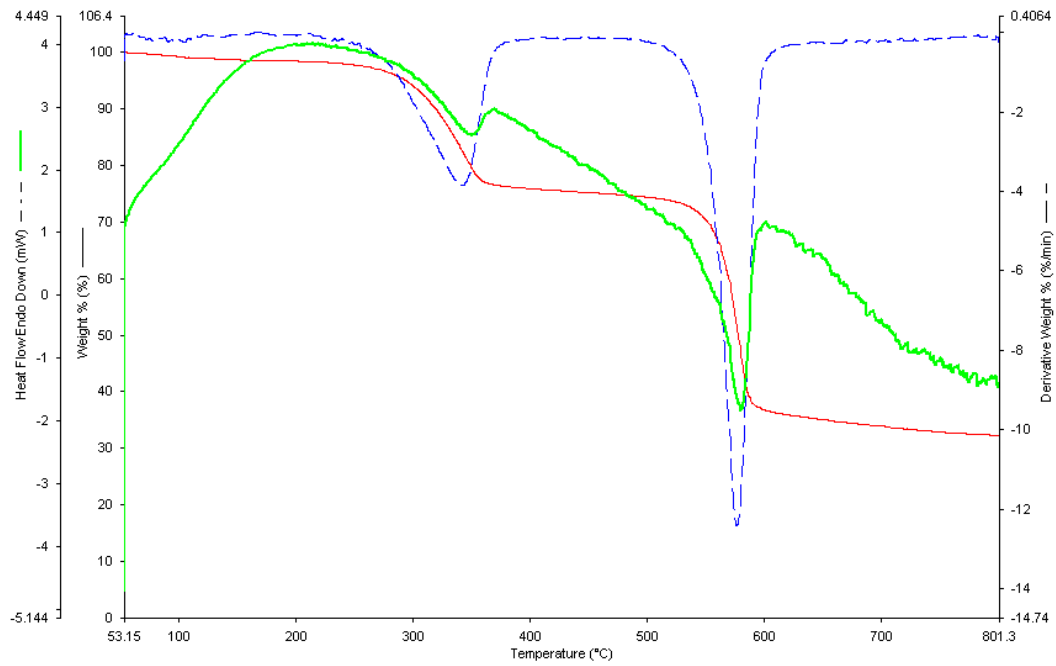
Her bölgesinde %99/1 Twaron®/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U10 kodlu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması tek basamakta gerçekleşmiş ve 423.8°C’ ye kadar kütlece kararlı yapıda olduğu görülmüştür (Şekil 3.26). Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklık değerinden sonra T_{max} : 581.3°C’ ye ulaşınca kadar numune kütlesi hızlı biçimde termal indirgenmeye maruz kalmıştır. Ardından nispeten daha yavaş gerçekleşen termal

bozunum yapıda sadece ana kütlenin kalmasıyla deney sonucu gerisinde %38.51' lik bir kömürleşme artığı bırakmıştır. Kumaşın içerdiği Twaron® lifi, para – aramid lif jenerasyonuna ait, yapısındaki aromatik zincirler sayesinde termal stabilitesi oldukça yüksek olan yüksek performanslı bir lifdir. Bu durum yapılan analiz sonucu yukarıda gösterilmiş grafikte birlikte çarpıcı biçimde ortaya çıkmıştır.



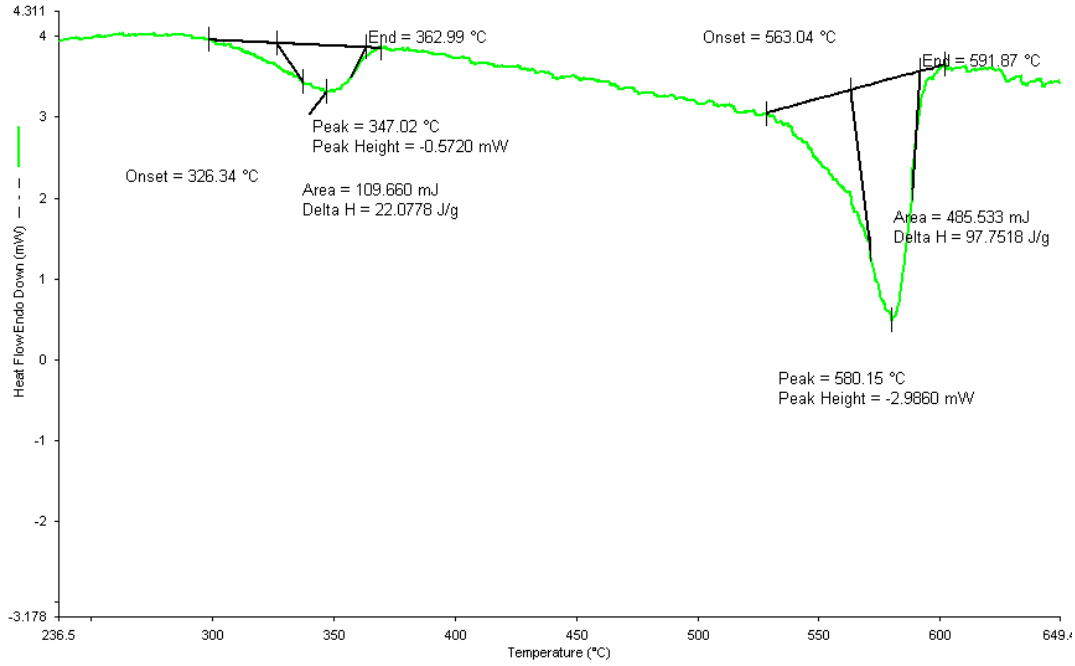
Şekil 3.27. U10 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

U10 kodlu DSC numunesinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Twaron® lifinden üretilme ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışındaki değişimin, lifin hızlı şekilde bozunduğu sıcaklık bölgesi içerisinde 559.83°C’ de başlayıp, 594.06°C’ de biten ve yaklaşık olarak 582.87°C noktasında maksimuma ulaşan ve endotermik reaksiyon şeklinde gerçekleşen bir bozunum buharlaşmasından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir (Şekil 3.27). Meydana gelen pikin derinliğinden de görüleceği üzere ısı akışındaki bu değişim oldukça seviye gerçekleşmiştir. Bu durum, o sıcaklığa yakın bir değerde yapıdaki Twaron® lifi kütlesinin maksimum bozunuma uğramasından kaynaklanmaktadır. Bu esnada yapıdan 140.49 J/g’ lık bir ısı enerjisi alınarak gerçekleşen ısı akışı değişimini ifade eden pik, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.28. U11 kodlu kumaşın TG/DTG ve DSC eğrileri.

Ön yüzünde %99/1 viskon/karbon lifi karışım ipliği, diğer tüm bölgelerinde %99/1 Twaron®/karbon lifi karışım ipliği kullanılarak üretilmiş U11 koldu numunenin TG analizi dikkate alındığında, termal bozunmaya uğraması iki basamakta gerçekleşmiş ve kumaş yapısının 257.0°C' ye kadar kütlece nispeten kararlı olduğu görülmüştür (Şekil 3.28). Bu sıcaklık değerinden itibaren kararlı yapı yerini hızlı biçimde termal indirgenmeye bırakarak $T_{\max}$: 343.3°C noktasında ilk basamaktaki maksimum kütle kaybına uğramıştır. Bu ana kadar kumaş kütlelerinin $\frac{1}{4}$ ' ünü karşılayan viskon lifi, kütlelerinin büyük bir kısmını kaybetmiş daha sonra kütlelerindeki kayıp hızı yavaşlayarak çok daha düşük seviyelere inmiştir. Başlangıçta düşük seviyede gerçekleşen kütle kaybının sebebinin yapıdaki suyun desorpsiyonu olduğu düşünülmüştür. Sıcaklıkla kütle kaybındaki ilk basamak burada sona ererken, 517.1°C' den itibaren termal bozunuma geçecek olan ve yapı kütlelerinin $\frac{3}{4}$ ' ünü karşılayan Twaron® lifiyle ikinci basamak kütle kaybına devam edilerek $T_{\max}$: 579.0°C ile ikinci basamaktaki maksimum kütle kaybına ulaşılmıştır. Daha sonra karışımli lif kütlelerinin termal indirgenmesi zamanla yavaşlayarak yapıda sadece ana kütle kalmasıyla deney sonucu gerisinde toplamda %32.26' lık bir kömürleşme artığı bırakmıştır. U11 kodlu kumaştan elde edilen termal analiz sonucu göstermiştir ki hem termal konfor hem de yüksek termal stabilite fonksiyonu sağlaması açısından bu kumaş efektif sonuçlar verebilecektir.



Şekil 3.29. U11 kodlu kumaşın DSC eğrisinin pik detayı.

U11 kodlu DSC numunesinden elde edilen ısı akış eğrisi incelendiğinde, erime göstermeksizin doğrudan kömürleşme özelliğiyle termoset bir yapıya sahip Twaron® ve viskon liflerinden üretilme ÜBBÖ kumaşa uygulanan ısı akışında endotermik reaksiyon şeklinde değişimler meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3.29). Bu değişimlerin kumaşın ihtiva ettiği liflerin hızla bozunuma uğradıkları sıcaklık değerlerine yakın bölgelerde meydana gelen bozunum buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlk olarak Twaron® lifine göre çok düşük sıcaklık değerlerinde bozunuma uğrayan viskon lifi hızla bozunurken, 326.34°C’ de başlayıp, 362.99°C’ de biten ve yaklaşık 347.02°C noktasında maksimuma ulaşan bir bozunum buharlaşması meydana geldiği düşünülmektedir. Kumaşın sadece ön yüzünde bulunan viskon lifi yapısı kütlesinin çeyreklik kısmını karşıladığından eldeki bu ilk pikin derinliğinden de görüleceği üzere; ısı akışında o bölgedeki değişim düşük seviyede gerçekleşmiştir. Bu esnada yapıdan 22.08 J/g’ lık bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. İkinci olarak, kumaş yapısındaki Twaron® lifi hızla bozunurken 563.04°C’ de başlayıp, 591.87°C’ de biten ve yaklaşık 580.15°C noktasında maksimuma ulaşan ısı akışındaki değişimle başka bir bozunum buharlaşması daha meydana geldiği düşünülmektedir. Bu esnada yapıdan 97.75 J/g’ lik bir ısı enerjisi alındığı tespit edilmiştir. İkinci pikin derinliğinden de görüleceği üzere; ÜBBÖ kumaşın kütlesine yaklaşık $\frac{3}{4}$ ’ ünü karşılayan Twaron® lifi kütlesinin büyük bir kısmı bu sıcaklık bölgesinde gerçekleştiğinden dolayı, ısı akışında o bölgedeki değişim

ilk değişimin yaklaşık 4.5 katı seviyede gerçekleşmiştir. Isı akışı değişimini ifade eden pikler, ilgili sıcaklık değerleri dâhilinde kumaş yapısında hızlı bir termal bozunum meydana geldiğini göstermektedir.

ÜBBÖ kumaşlardan elde edilen termal analiz sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde; kullanılan doğal güç tutuşur özellikteki liflerin iplik yapısında gösterdikleri yüksek ısıya karşı dayanım özelliklerini ÜBBÖ kumaş yapısına da yansıttığı görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında yüksek termal dayanım gösteren liflerin bu özelliklerini ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk performansına yansıtacakları da düşünülmektedir.

ÜBBÖ kumaşların ihtiva ettiği ve termal davranışı literatürden de bilinen liflere uygulanan ısı akışı dâhilinde, DSC eğrilerinden elde edilen piklerin başlangıçta düşük seviyede de olsa kristallenme gösteren U3 kodlu numune haricinde, diğer tüm kumaşlarda bozunum buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Numunelerin DSC analizi sonuçlarındaki ısı akış eğrileri, ÜBBÖ kumaşlarda meydana gelen bozunumun hızlı geliştiği sıcaklık bölgelerini ve bozunum miktarlarını kanıtlar nitelikte çıkmıştır. ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk performansına ışık tutacak TG eğrileri, yüksek performanslı lif karışımlarından elde edilen kompozit iplikler kullanılarak üretilen kumaşların bu performans özelliğini istenen düzeyde sağlayabileceğini göstermiştir.

Sınırlayıcı oksijen indeksi (*LOI*), bir materyalin yanmaya devam edebilmesi için gerekli % oksijen miktarı demektir. Bu değer %25' in altında ise malzemenin yanması kolay gerçekleşecek olup, %25' in üstündeki değerlerde ise yüksek sıcaklığa maruz kalan materyal havada kendiliğinden sönecektir [59]. ÜBBÖ kumaşların sınırlayıcı oksijen indeksi (*LOI*) değerleri dikkate alındığında, kumaşların güç tutuşurluk performansının değerlendirilmesinde referans olarak kullanılmak üzere üretilen Kermel® ve Twaron® lifi içerikli ÜBBÖ kumaşların termal analiz ve güç tutuşurluk (*LOI*) değerlerinin (U2, %30.0; U10, %37.0) literatürde de belirtildiği üzere oldukça yüksek ve tatmin edici düzeyde çıktığı görülmüştür (Tablo 3.4). Aynı zamanda, bu liflerin kumaş yapısında kullanılma oranı arttıkça güç tutuşurluğa olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür. ÜBBÖ kumaşların termal konfor değerlendirmesinde referans olarak kullanılan selüloz esaslı U1 (%20.5) ve U5 (%19.8) kodlu numuneler, kimyasal yapıları itibariyle diğer kumaşlar içerisinde beklenildiği üzere en düşük *LOI* değerlerine sahip çıkmıştır.

Bununla birlikte, üç boyutlu kumaş yapısının, düşük LOI değerlerine sahip pamuk (%18.4) ve viskon (%18.9) liflerinden üretilme bu kumaşlara güç tutuşurluk yönünden nispeten olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Bu kumaşlar haricindeki diğer tüm kumaşlar %25' den yüksek LOI değerine sahip çıkmış ve güç tutuşur bir yapı sergilemişlerdir. Yüzeylerinin birinde viskon diğer tüm bölgelerinde Twaron® lifi kullanılan U11 kodlu numunede viskon lifi, kumaşın güç tutuşurluk seviyesini düşürmüştür (%27.2). Bununla birlikte, literatürde LOI değeri %28 olarak yer alan Lenzing FR® ve Nexylon FR® liflerinin, güç tutuşurluk özelliği göstermekle birlikte, kullanıldıkları kumaşların (U6, U7, U8 ve U9) güç tutuşurluğuna beklenen düzeyde katkı sağlayamadığı görülmüştür. Termal konfor sağlaması bakımından kumaşların ön yüzünde kullanılan Lenzing FR® lifinin, Kermel® lifiyle karışımli olarak kullanıldığı kumaşlarda (U3, U4) ise güç tutuşurluk etkinliğinin Kermel® lifi oranına bağlı olarak daha üst seviyelere çıktığı görülmüştür.

ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk performansları değerlendirildiğinde, özellikle koruyucu giyside termal astar olarak kullanılması planlanan bu kumaşlarda kullanılan kompozit ipliklerin, yeterli düzeyde güç tutuşurluk sağlayabileceği görülmüştür. Kumaşlarda kullanılan Kermel® ve Twaron® lifleri güç tutuşurluk performansını artırmıştır. ÜBBÖ kumaşlar arasında güç tutuşurluk performansı en yüksek olan kumaş, %99 Twaron® lifi içerikli U10 kodlu ÜBBÖ kumaş olarak tespit edilmiştir.

3.3. ÜBBÖ Kumaşların Termofizyolojik Konfor Test Sonuçları

Üretilen ÜBBÖ kumaşların termofizyolojik konfor özellikleri kumaşların; hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliği ve termal direnç özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan testler sonucu elde edilen sonuçlar ayrı alt başlıklar halinde değerlendirilerek aşağıda verilmiştir.

3.3.1. ÜBBÖ Kumaşların Hava Geçirgenliği Test Sonuçları

İki yüzü arasında belirli bir basınç farkı bulunan kumaşın birim yüzeyinden geçen hava hacmi miktarı, hava geçirgenliği şeklinde tanımlanmaktadır [111, 128]. Kumaş içerisindeki hava hareketi viskozik sürüklenmeye bağlı olduğundan; örgü sıklığı arttıkça hava geçirgenliği oldukça azalmaktadır. Ayrıca, kumaş kalınlığındaki artış, hava geçirgenlik özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Kumaş yüzeyleri arasındaki basınç

farkı, kumaş tabakası içinden geçen hava miktarını belirler ve hava hızı azaldıkça daha da kuvvetlenir [129]. Su buharı geçirgenliği ve kılcallık (sıvı su iletimi) özellikleri kumaşın hava geçirgenliğiyle doğrudan ilişkili olduğundan, kumaşların hava geçirgenliği test sonucu konfor özelliğini doğrudan etkilemektedir [124].

ÜBBÖ kumaşlar kalınlık yönünde sahip olduğu yapısı sebebiyle, hav ipliklerinin kumaşın içinden geçen havayı kırmasından dolayı, iki boyutlu örme kumaşlara göre daha düşük değerlerde hava geçirgenliğine sahiptir. ÜBBÖ kumaşların ön ve arka yüzünden yapılan ölçüm sonucu elde edilen hava geçirgenliği testi değerleri Tablo 3.5’ de verilmiştir. ÜBBÖ kumaşların ön ve arka yüzeyinde kullanılan lif tipine bağlı olarak her iki yüzden yapılan hava geçirgenliği test sonuçları birbirinden farklı ölçümlenmiştir.

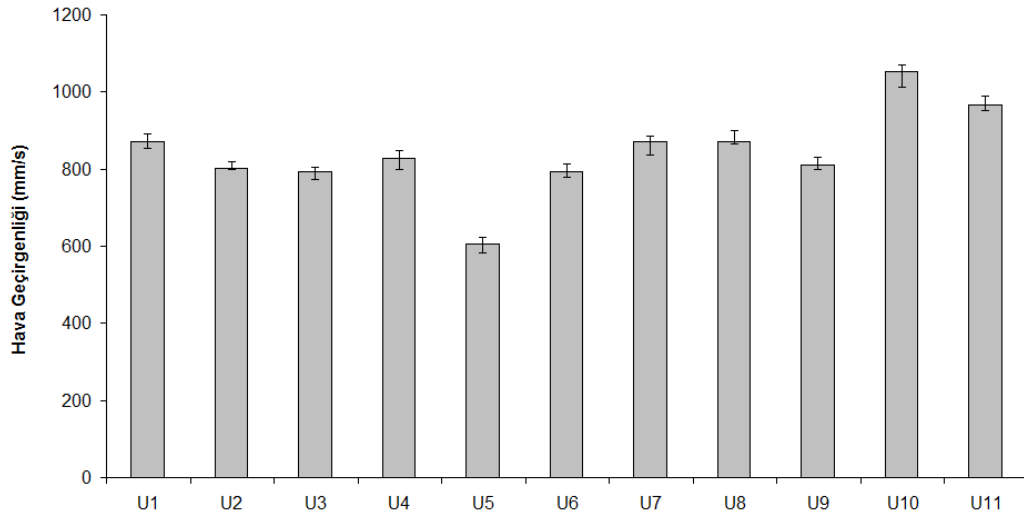
Tablo 3.5. ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları.

Kumaş Kodu	ÜBBÖ Kumaş Hava Geçirgenliği (mm/s)		Kumaş Kalınlığı (mm)	İlmek Yoğunluğu (ilmek/cm ²)
	Ön Yüz	Arka Yüz		
U1	872.0 (0.03)	788.4 (0.05)	1.22 (0.01)	112.00 (2.83)
U2	801.2 (0.04)	795.6 (0.03)	1.29 (0.02)	115.20 (1.79)
U3	794.2 (0.02)	745.6 (0.03)	1.23 (0.01)	115.20 (1.79)
U4	827.8 (0.04)	749.2 (0.03)	1.21 (0.01)	115.20 (1.79)
U5	606.2 (0.04)	547.4 (0.04)	1.21 (0.01)	112.55 (1.23)
U6	793.0 (0.03)	747.4 (0.03)	1.25 (0.01)	111.40 (4.00)
U7	871.4 (0.05)	965.8(0.03)	1.20 (0.02)	111.40 (3.97)
U8	870.2 (0.03)	994.8 (0.05)	1.23 (0.01)	109.95 (3.10)
U9	810.6 (0.03)	894.6 (0.03)	1.25 (0.01)	112.55 (3.10)
U10	1052.0 (0.02)	1052.0 (0.04)	1.24 (0.02)	112.00 (2.83)
U11	966.4 (0.01)	1019.6 (0.02)	1.25 (0.02)	110.75 (4.12)

*Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların ön yüzeylerinden yapılan hava geçirgenliği testi sonucu elde edilen değerler 606.2 – 1052.0 mm/s aralığında değişim göstermiştir. Arka yüzeylerden yapılan hava geçirgenliği testi sonucu elde edilen değerler ise 547.4 – 1052.0 mm/s aralığında değişim göstermiştir. ÜBBÖ kumaşların kalınlık ve yüzey ilmek yoğunluğu değerleri de göz önüne alındığında; bu parametre değerlerinin birbirine oldukça yakın seyretmesi nedeniyle ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenliği lif tipi itibarıyla değerlendirilmeye tabi tutulmuştur.

ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları dikkate alındığında, en yüksek hava geçirgenliğine 1052 mm/s değeriyle Twaron® lifi içerikli U10 kodlu numunenin sahip olduğu görülmüştür (Şekil 3.30). Bu durumun Twaron® lifinin pürüzsüz yüzey yapısından kaynaklandığı düşünülmüştür.



Şekil 3.30. ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenliği değerleri.

Bununla birlikte, ön yüzleri viskon lifi içerikli kumaşlarda (U1, U11), yapıdaki Twaron® lifi içeriğinin kumaşın hava geçirgenliğine olumlu yönde katkı sağladığı tespit edilmiştir (U11). Pamuklu U5 numunesi, üretildiği pamuklu kompozit ipliğinin yüksek tüylülük derecesinden ötürü ve pamuğun yüzey yapısı itibarıyla en düşük hava geçirgenliği değerini (606.2 mm/s) vermiştir. ÜBBÖ kumaşların içerdiği lif yüzdeleri Tablo 3.1’ de verilmiştir. Kumaş yapısında yüksek oranda Kermel® lifi ihtiva eden numunelerden (U2, U3, U4), %50 ile en düşük Kermel® lif içeriğine sahip U4 kodlu numune, bu kumaş grubu arasında en yüksek hava geçirgenliği değerine (827.8 mm/s) sahip çıkmıştır. Bu numune grubu içerisinde, %37 oranında Lenzing FR® lifi içeren U3 kodlu numunenin hava geçirgenliği, %49 oranında Lenzing FR® lifi içeren U4 kodlu numuneye oranla daha düşük hava geçirgenliği değerine (794.2 mm/s) sahip çıkmıştır. %99 oranında Kermel® lifi içeren U2 kodlu numune ise bu iki kumaştan çok düşük olmamakla birlikte, U3 kodlu kumaşa yakın bir sonuç vermiştir. Kumaş yapısında yüksek oranda Lenzing FR® lifi ihtiva eden numunelerden (U6 – U9), %85 Lenzing FR® lifi oranına sahip U7 kodlu numune (871.4 mm/s) ile %76 oranında Lenzing FR® lifi ihtiva eden U8 kodlu numune (870.2 mm/s) birbirine yakın ve diğer numunelere göre daha yüksek hava geçirgenliği değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu numune grubu içerisinde, birbirine yakın oranda Lenzing FR® lifi içeren U6 kodlu numune (%69) ile U9 kodlu numune (%67), bu oranlarla doğru orantılı olacak şekilde yakın, fakat ilgili numune grubu içerisindeki diğer kumaşlara göre daha düşük sonuçlar vermiştir.

ÜBBÖ kumaşlardan elde edilen hava geçirgenliği test sonuçları $p < 0.001$ ile %95 güven aralığında ($R^2 = 0.985$) anlamlı bulunmuştur.

ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, yapısında Twaron® ihtiva eden kumaşların, diğer kumaşlara oranla çok daha yüksek sonuçlar verdiği, ayrıca, kumaş yapısında Lenzing FR® oranı arttıkça da hava geçirgenliği özelliğinde iyileşme meydana geldiği tespit edilmiştir.

3.3.2. ÜBBÖ Kumaşların Su Buharı Geçirgenliği Test Sonuçları

Termofizyolojik konforu etkileyen en önemli giysi/kumaş parametresi su buharı geçirgenliğidir. Su buharı geçirgenliği, ciltten gelen nemi/buharı giysiden geçirebilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir [130]. Dolayısıyla, termofizyolojik açıdan konforlu bir giysi yüksek su buharı geçirgenliğine sahip olmalıdır. Su buharı, giysi içerisinden etkili bir biçimde iletilmediği durumda, deri yüzeyinde bağıl nem değeri artmaya, bunun sonucu olarak giyen kişi ıslaklığı hissetmeye başlar [128, 131, 132]. Kumaş yapısındaki boşluklar, iplikler arası hava gözenekleri, gözenek büyüklüğü ve sayısı, su buharı geçirgenliğini doğrudan etkilemektedir. Gözenek büyüklüğü iplik çapından, iplik çapı da lif karışımından etkilendiğinden su buharı geçirgenliğinin kumaş bünyesindeki liflerin nem alma özelliğinden önemli ölçüde etkilenmesi söz konusu olabilir.

ÜBBÖ kumaşların su buharı geçirgenliği özelliğinin değerlendirilmesi iki aşamalı bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, ÜBBÖ kumaşlar tek başına değerlendirilmiş, ikinci aşamada ise, koruyucu giysi içerisinde çok katmanlı bir yapı içerisindeki davranışı simüle edilerek su buharı geçirgenliği değerlendirilmiştir.

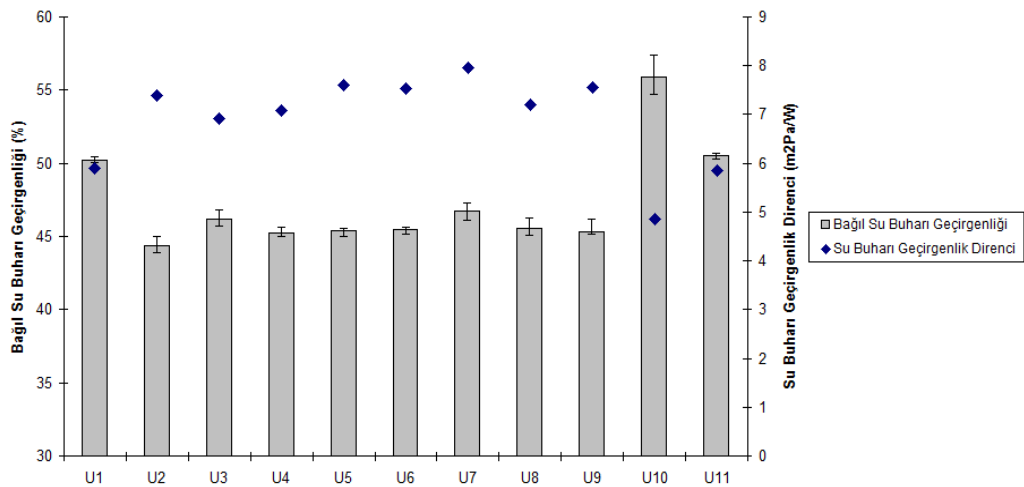
ÜBBÖ kumaşların su buharı geçirgenliği test sonuçları, hava geçirgenliği test sonuçları ve kumaşların gözeneklilikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Tablo 3.6). ÜBBÖ kumaşlar aynı makine ayarlarında üretildiklerinden ilmek yoğunlukları birbiriyle yakın değerde olmasından dolayı, kumaşların gözeneklilik değerleri de birbirine çok yakın çıkmıştır. Kapalı yüzey üretilmiş ÜBBÖ kumaşların gözeneklilik değerleri yaklaşık %85 çıkmış olup, bu kumaş yapı özelliğinin, kumaşların su buharı geçirgenliğine olumlu yönde katkı sağladığı düşünülmektedir.

Tablo 3.6. ÜBBÖ kumaşların su buharı geçirgenliği test sonuçları.

Kumaş Kodları	Bağıl Su Buharı Geçirgenliği (%)	Su buharı Geçirgenlik Direnci ($\text{m}^2\text{Pa/W}$)	ÜBBÖ Kumaş Hava Geçirgenliği (mm/s)	Gözeneklilik (%)
U1	50.22 (0.20)	5.90 (0.08)	872.0 (0.03)	85,48
U2	44.39 (0.55)	7.40 (0.05)	801.2 (0.04)	84,33
U3	46.15 (0.61)	6.91 (0.17)	794.2 (0.02)	84,54
U4	45.25 (0.32)	7.08 (0.03)	827.8 (0.04)	85,22
U5	45.35 (0.33)	7.60 (0.08)	606.2 (0.04)	85,54
U6	45.46 (0.27)	7.52 (0.25)	793.0 (0.03)	85,25
U7	46.76 (0.60)	6.96 (0.14)	871.4 (0.05)	85,27
U8	45.59 (0.64)	7.20 (0.08)	870.2 (0.03)	85,59
U9	45.29 (0.09)	7.56 (0.41)	810.6 (0.03)	85,77
U10	55.89 (1.39)	4.85 (0.23)	1052.0 (0.02)	85,49
U11	50.51 (0.21)	5.85 (0.11)	966.4 (0.01)	85,25

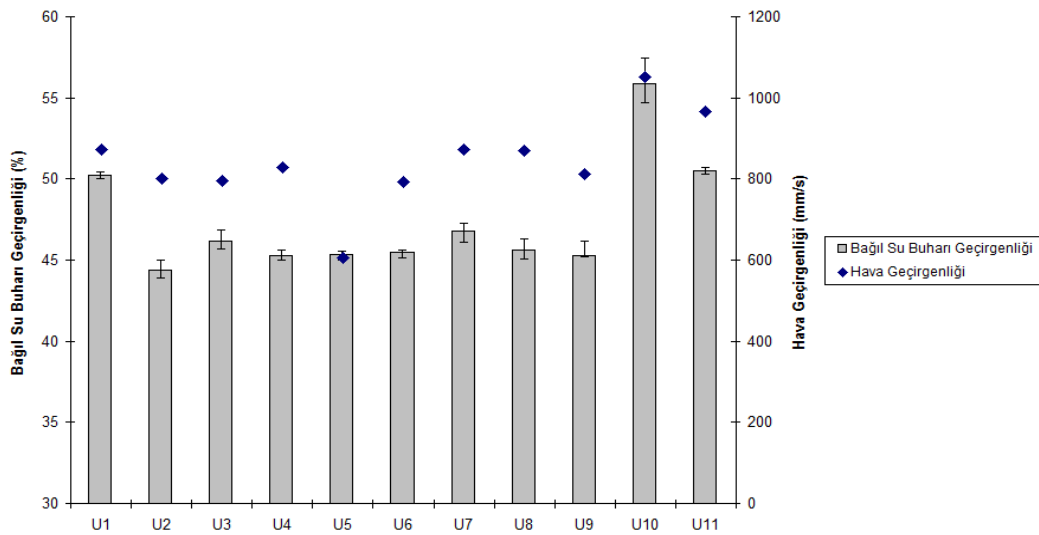
*Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir. ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenliği değerleri olarak, kumaşların ön yüzünden yapılan ölçüm sonucu elde edilen değerler verilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği – su buharı geçirgenlik direnci test sonucu incelendiğinde (Şekil 3.31), numunelerin bağıl su buharı geçirgenliği değerlerinin %44.39 – %55.89 arasında ve su buharı geçirgenlik direnci değerlerinin $4.85 \text{ m}^2\text{Pa/W}$ – $7.60 \text{ m}^2\text{Pa/W}$ arasında değişim gösterdiği görülmüştür. ÜBBÖ kumaşlar içerisinde %55.89' luk değerle bağıl su buharı geçirgenliği en yüksek, $4.85 \text{ m}^2\text{Pa/W}$ ile su buharı geçirgenlik direnci en düşük, kumaş %99 Twaron® lifi ihtiva eden U10 kodlu kumaş çıkmıştır.



Şekil 3.31. ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği ve su buharı geçirgenlik direnci test sonuçları.

Bu sonucun, Twaron® lifinin pürüzsüz yüzeyi ve bu sayede hava geçişine sağlayacağı katkıdan ileri geldiği düşünülmüştür. Bununla birlikte, ön yüzünde viskon diğer tüm yüzeylerinde Twaron® lifi içeren U11 kodlu kumaş (%50.51, 5.85 m²Pa/W), U1 kodlu referans viskon kumaşı (%50.22, 5.90 m²Pa/W) ile birbirine yakın bağıl su buharı geçirgenliği ve su buharı geçirgenlik direnci sonuçları verdiği görülmüştür. Bu durum, ön yüzde kullanılan lif tipinin su buharı geçirgenliği bakımından belirleyici olabildiğini göstermektedir. Öte yandan, ÜBBÖ kumaşlar arasında en düşük bağıl su buharı geçirgenliği değerine (%44.39) ve en yüksek su buharı geçirgenlik direnci değerlerinden birisine (7.40 m²Pa/W) her bölgesinde Kermel® lifi kullanılan U2 kodlu kumaşın sahip olduğu görülmüştür. Lenzing FR® lifini ihtiva eden numunelerde (U3, U4, U6, U7, U8 ve U9) su buharı geçirgenlik değerleri yaklaşık %45 civarında seyrederek, referans viskon kumaşına (U1) göre daha düşük sonuçlar vermiştir (Şekil 3.31). Su buharı geçirgenlik direnci düşük olan kumaşlarda, bağıl su buharı geçirgenliğinin yüksek olacağı göz önünde bulundurulursa, ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği – su buharı geçirgenlik direnci sonuçları arasında ters orantılı olacak şekilde mantıklı bir ilişki tespit edilmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.32. ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği ve kumaşların hava geçirgenliği arasındaki ilişki.

Kumaşların hava geçirgenliği, su buharı geçirgenliğini etkileyen önemli parametrelerden birisidir [124]. Kumaşlarda içten dışa gerçekleşen hava geçişi, terlemeyle birlikte meydana gelen sıvının buharlaştırılarak dış ortama salınmasında önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla, üretilen ÜBBÖ kumaşlarda kişiye temas eden ön

yüzeyden dışarıya doğru gerçekleşen hava geçişi, kullanılan lif tipine de bağlı olarak bağıl su buharı geçirgenlik özelliğine önemli derecede etkiyecektir. ÜBBÖ kumaşların ön yüzeyinden yapılan hava geçirgenliği testi sonucu elde edilen değerler 606.2 – 1052.0 mm/s arasında değişmektedir (Tablo 3.6). ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği – hava geçirgenliği değeri arasında ilişki incelendiğinde (Şekil 3.32), hava geçirgenlik değerleri diğer kumaşlara oranla çok daha yüksek olan Twaron® lifi içerikli kumaşlarda (U10; 1052.0 mm/s, U11; 966.4 mm/s) bağıl su buharı geçirgenlik değerleri diğer kumaşlardan çok daha yüksek çıkmıştır. Aynı şekilde, hava geçirgenliği yüksek olan diğer kumaşlarda genel itibarıyla bağıl su buharı geçirgenliği değeri yüksek çıkmıştır. Referans olan U1 kodlu viskon kumaşında, hava geçirgenlik değerinin yanı sıra, bağıl su buharı geçirgenlik değerinin de yüksek olduğu görülmüştür. Ancak, diğer bir referans olan U5 kodlu pamuklu kumaşta, kumaşlar arasında en düşük hava geçirgenlik değeri (606.2 mm/s) tespit edilmişken, bağıl su buharı geçirgenliği kumaşların geneliyle aynı seviyede çıkmıştır. Pamuklu kumaşın hava geçirgenliği değeri, pamuklu kompozit ipliğin yüksek tüylülük derecesi nedeniyle düşük çıkmıştır (Tablo 2.1). U2 kodlu Kermel® kumaşı hava geçirgenliği değeri (801.2 mm/s) iyi seviyede olmasına karşılık, bağıl su buharı geçirgenliğinin düşük olduğu (%44.39) görülmüştür.

ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği – hava geçirgenliği, ile su buharı geçirgenliği direnci – hava geçirgenliği arasında korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği ile hava geçirgenliği arasındaki + 0.78 korelasyon katsayısı ile bu iki parametre arasında direkt yönlü doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. U1 kodlu viskon lifi içerikli kumaş ve U5 kodlu pamuk içerikli kumaşlardan elde edilen bağıl su buharı geçirgenliği ve hava geçirgenliği verileri; bu direkt yönlü doğrusal ilişkinin gücünü düşürerek, trendi bozmaktadır. Bu durumun, U5 kodlu pamuklu kumaşı için hava geçirgenliği değerinin çok düşük olmasına karşılık nem alma özelliğinin iyi olması sebebiyle bağıl su buharı geçirgenliği değerinin yüksek ve ortalama değere yakın çıkmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca, viskon lifi içerikli U1 kodlu kumaş için de hava geçirgenliği değeri ortalamaya yakın çıkmasına rağmen, bağıl su buharı geçirgenliği değerinin kumaşların geneline nispeten yüksek çıkması, bu korelasyonun gücünü azaltan etkenlerden biri olduğu düşünülmüştür. Bu iki numunedan alınan sonuçlar analizden çıkartılacak olunursa, + 0.95 korelasyon katsayısı ile oldukça kuvvetli ve direkt yönlü

doğrusal bir ilişki tespit edilmiş olacaktır. Öte yandan, su buharı geçirgenliği direnci ile hava geçirgenliği arasındaki - 0.74 korelasyon katsayısı ile bu iki parametre arasında ters yönlü bir doğrusal ilişki olduğu tespit edilmiştir. U3, U5 ve U7 kodlu kumaşlardan elde edilen su buharı geçirgenlik direnci ve hava geçirgenliği verileri; bu ters yönlü doğrusal ilişkinin gücünü düşürerek, trendi bozmaktadır. Bu üç numuneden alınan sonuçlar analizden çıkartılacak olunursa, - 0.93 korelasyon katsayısı ile oldukça kuvvetli ve ters yönlü doğrusal bir ilişki tespit edilmiş olacaktır.

Tek katmanlı ÜBBÖ kumaşlardan elde edilen su buharı geçirgenliği değerleri, $p < 0.001$ ile %95 güven aralığında ($R^2 = 0.984$) anlamlı bulunmuştur.

ÜBBÖ kumaşların tek katmanlı bağıl su buharı geçirgenliği sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, kumaşların ön yüzünden hava geçirgenliği seviyelerindeki artış genel itibarıyla bağıl su buharı geçirgenliğini artırmaktadır. Dolayısıyla üretilen ÜBBÖ kumaşlar arasında en yüksek hava geçirgenliği değerine sahip olan U10 kodlu Twaron® lifi içerikli kumaşı en yüksek bağıl su buharı geçirgenlik değerine sahip kumaş çıkmıştır. Ayrıca, Lenzing FR® lifi içerikli kumaşların (U3, U4, U6, U7, U8, U9) bağıl su buharı geçirgenliğinin, viskon referans kumaşın (U1) bağıl su buharı geçirgenliğinden daha düşük olduğu görülmüştür.

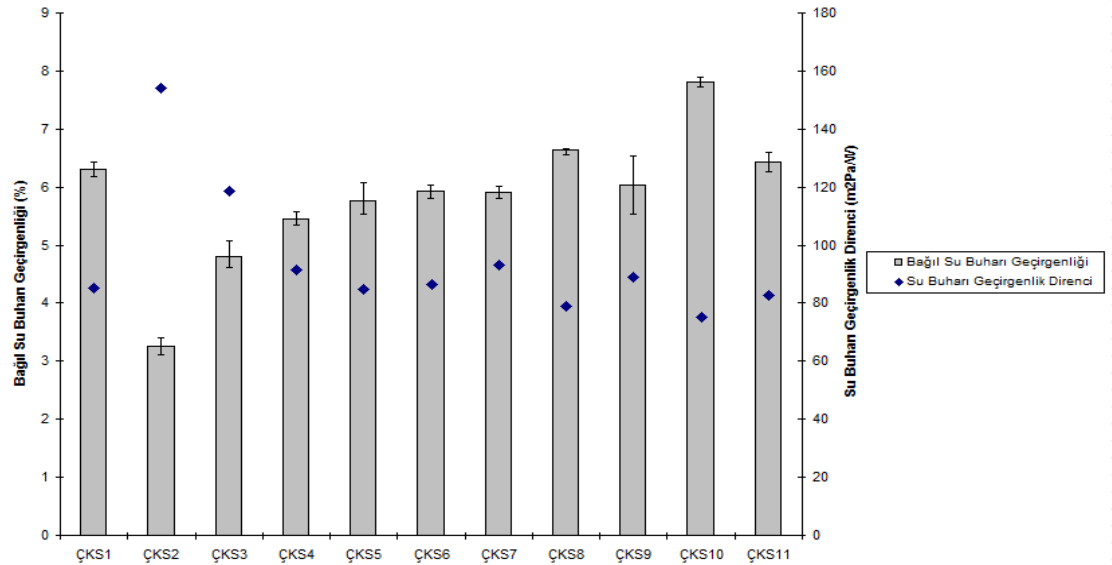
Tablo 3.7. Koruyucu giysinin simüle edildiği çok katmanlı yapının bağıl su buharı geçirgenliği ve su buharı geçirgenlik direnci test sonuçları.

Çok Katmanlı Sistem Kodu	Çok Katmanlı Sistem Düzeni	Bağıl Su Buharı Geçirgenliği (%)	Su Buharı Geçirgenlik Direnci (m^2Pa/W)
ÇKS1	PE + U1 + S	6.30 (0.13)	85.30 (2.58)
ÇKS2	PE + U2 + S	3.25 (0.15)	154.03 (9.18)
ÇKS3	PE + U3 + S	4.81 (0.23)	118.49 (8.61)
ÇKS4	PE + U4 + S	5.45 (0.12)	91.56 (3.02)
ÇKS5	PE + U5 + S	5.77 (0.28)	84.85 (3.59)
ÇKS6	PE + U6 + S	5.93 (0.12)	86.45 (1.69)
ÇKS7	PE + U7 + S	5.91 (0.11)	93.34 (0.53)
ÇKS8	PE + U8 + S	6.63 (0.06)	79.07 (0.10)
ÇKS9	PE + U9 + S	6.03 (0.50)	89.04 (2.31)
ÇKS10	PE + U10 + S	7.81 (0.11)	75.17 (5.77)
ÇKS11	PE + U11 + S	6.43 (0.23)	82.85 (6.58)
-	S	58.57 (0.77)	4.12 (0.13)
-	PE	0.30 (0.01)	511.1 (0.10)
-	PE+S	2.04 (0.01)	165.66 (0.05)

*Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir.

ÜBBÖ kumaşın astar yapı olarak, koruyucu giysinin gerçek yapısı içerisindeki davranışını simüle etmek amacıyla PE film, ÜBBÖ kumaş ve süprem iç giyim kumaşı yöntem kısmında açıklandığı şekliyle birlikte test edilmiştir. Tablo 3.7’ de ölçülen bu

çok katmanlı yapı “PE (Polietilen film) + ÜBBÖ + S (süprem kumaş)” şeklinde kodlanarak Tablo 3.7’ de verilmiştir. Ayrıca, tüm yapının kombine bir biçimde davranışını inceleyebilmek amacıyla, öncelikle nem bariyerini simüle eden PE filmin ve koruyucu giysiyi giyecek kişinin içten giydiği %100 pamuk süprem örme kumaşın su buharı geçirgenliği testi tek başına yapılmıştır. Test sonuçları dikkate alındığında, beklenti doğrultusunda süprem örme kumaşın su buharı geçirgenliği tüm ÜBBÖ kumaşlardan yüksek (%58.57) ve su buharı geçirgenliği direnci ise düşük bulunmuştur ($4.12 \text{ m}^2\text{Pa/W}$). Çok katmanlı koruyucu giysi sistemindeki su geçirmez özellikteki nem bariyerini simüle etmek amacıyla kullanılan PE filmin bağıl su buharı geçirgenliği %0.3 değeriyle simülasyon için istenen performansı göstereceği tespit edilmiştir. Aynı zamanda, PE film ve pamuklu süprem kumaş ile iki katmanda gerçekleştirilen ölçüm sonu elde edilen bağıl su buharı geçirgenlik değeri %2.04 olarak bulunmuştur (Tablo 3.7).



Şekil 3.33. Çok katmanlı koruyucu giysi simülasyonunun bağıl su buharı geçirgenliği ve su buharı geçirgenlik direnci arasındaki ilişki.

En üst katmanı PE film olan su buharı geçişini engelleyici yapıdaki çok katmanlı sistemden elde edilen bağıl su buharı geçirgenliği değerlerinin %3.25 – %7.81 arasında, su buharı geçirgenlik direnci değerlerinin ise $75.17 \text{ m}^2\text{Pa/W}$ – $154.03 \text{ m}^2\text{Pa/W}$ arasında değiştiği görülmüştür (Tablo 3.7). Çok katmanlı koruyucu giysi simülasyonunun bağıl su buharı geçirgenliği sonuçları dikkate alındığında, tek başına ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenlikleriyle aynı eğilimde olacak şekilde, ancak düşük seviyelerde

çıkıştır (Şekil 3.33). Ancak, bunun ötesinde giysi sistemini oluşturan katmanlı yapının (PE film + ÜBBÖ + Süprem kumaş) bağıl su buharı geçirgenliği değerlerinin, emsal PE film + süprem kumaşın bağıl su buharı geçirgenliği değerinden 2 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Böylece, ÜBBÖ kumaşın kalınlık yönündeki yapısı sayesinde, su buharı geçişinin hem üstten hem de kalınlık yönünden sağlanabilme olanağı göz önünde bulundurulsa, katmanlar arasında gerçekleşen su buharı geçişi, üst katmanın yapısı itibarıyla engellenmekte de olsa, su buharının kalınlık yönünde geçişinin sağlanabildiği görülmüştür. Orta katman olarak Kermel® lifli içerikli kumaşın (ÇKS2) kullanıldığı çok katmanlı sistem en düşük su buharı geçirgenliği değerine (%3.25) ve en yüksek su buharı geçirgenlik direnci değerine ($154.03 \text{ m}^2\text{Pa/W}$) sahip çıkmışken, Twaron® lifli içerikli kumaş kullanılan sistemde (ÇKS10) en yüksek su buharı geçirgenliği değeri (%7.81) ve en düşük su buharı geçirgenlik direnci değeri ($75.17 \text{ m}^2\text{Pa/W}$) tespit edilmiştir. Diğer tüm çok katmanlı sistemlerde ise, %6' ya yakın değerlerde sonuçlar elde edilmiştir. Su buharı geçirgenlik direnci düşük olan kumaşlarda, bağıl su buharı geçirgenliğinin yüksek olacağı göz önünde bulundurulursa, ÜBBÖ kumaşların bağıl su buharı geçirgenliği – su buharı geçirgenlik direnci sonuçları arasında ters orantılı olacak şekilde mantıklı bir ilişki tespit edilmiştir (Şekil 3.33).

Çok katmanlı koruyucu giysiyi simüle amaçlı oluşturulan katmanlı sistemlerin bağıl su buharı geçirgenliğinin test sonuçları göz önüne alındığında, ilk olarak iç giyimi simüle eden tek katlı süprem örgü kumaş ile nem bariyerini simüle eden PE filmin üst üste kombinasyonu ile yapılan ölçümde su buharı geçirgenliği sıfıra yakın bir değer verdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, oluşturulan çok katmanlı sistemlerin su buharı geçirgenliği ölçüm sonuçlarının tek katmanda elde edilen ölçümlere oranla düşük olduğu, fakat ÜBBÖ kumaş yapısının su buharı geçişinin hem üstten hem de kalınlık yönünden sağlayabilmesi sayesinde, belirli oranda su buharı geçirgenliğini sağladığı tespit edilmiştir. Bu durum ÜBBÖ kumaşların içten içe (in-plain) geçirgenlik özelliğinin ve dolayısıyla termofizyolojik konfora olan olumlu katkısını açık bir biçimde ortaya koymuştur. Orta katman olarak Kermel® lifli içerikli kumaşın kullanıldığı çok katmanlı sistem (ÇKS2) en düşük bağıl su buharı geçirgenliği değerine sahip çıkmışken, Twaron® lifli içerikli kumaş kullanılan sistemde (ÇKS10) en yüksek bağıl su buharı geçirgenliği değeri tespit edilmiştir.

Çok katmanlı koruyucu giysi simülasyonunun su buharı geçirgenliği değerleri, $p < 0.001$ ile %95 güven aralığında ($R^2 = 0.982$) anlamlı bulunmuştur.

3.3.3. ÜBBÖ Kumaşların Termal Direnç Test Sonuçları

Termal direnç bir malzemenin ne derece yalıtıma sahip olduğunun bir göstergesidir (zamanla değişen durumda kuru termal direnç ve izotermal durumda ıslak termal direnç) [117]. Termal direnç (r , (m^2K/W)) malzemenin esas kalınlığının ve termal iletkenliğinin bir fonksiyonu şeklindedir (Denklem 1.5). Bu ilişki aşağıdaki formülde verildiği gibidir [123]:

$$r = h / \lambda \quad (1.5)$$

Burada, h kumaş kalınlığı (m) ve λ (W/mK) ise malzemenin termal iletkenliğidir [123]. ÜBBÖ kumaşlardan termal direnç testi sonucu elde edilen değerler Tablo 3.8’ de verilmiştir. ÜBBÖ kumaşların kalınlıkları birbirine oldukça yakın değerde tespit edilmiştir. Dolayısıyla, ÜBBÖ kumaşların lif içerikleri ve bu liflerin gösterdiği termal davranış, numunelerin termal dirençlerinin değerlendirilmesinde esas alınarak yorumlanmıştır.

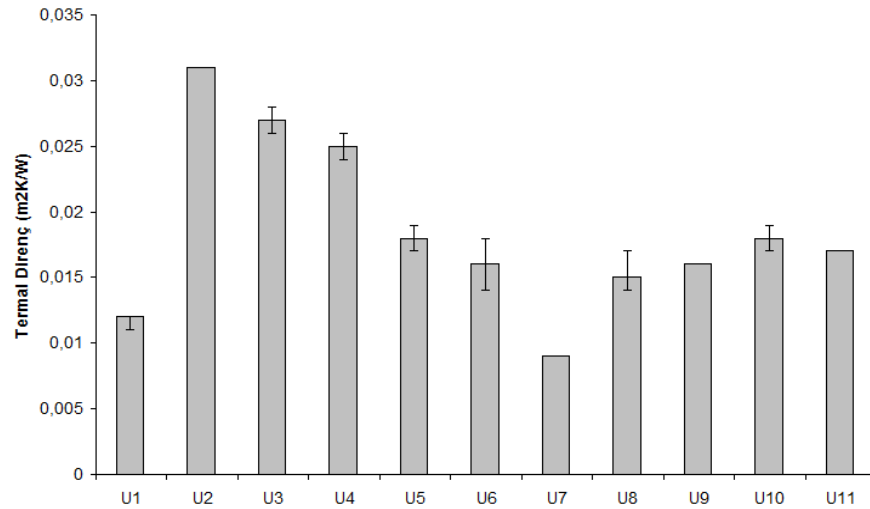
Tablo 3.8. ÜBBÖ kumaşların termal direnç test sonuçları.

Kumaş Kodu	Termal Direnç (m^2K/W)	Termal İletkenlik (W/mK)	Kumaş Kalınlığı (mm)
U1	0.012 (0.001)	0.102 (0.001)	1.22 (0.010)
U2	0.031 (0)	0.042 (0)	1.29 (0.020)
U3	0.027 (0.001)	0.046 (0.001)	1.23 (0.010)
U4	0.025 (0.001)	0.048 (0.001)	1.21 (0.010)
U5	0.018 (0.001)	0.067 (0.001)	1.21 (0.010)
U6	0.016 (0.002)	0.078 (0.002)	1.25 (0.010)
U7	0.009 (0)	0.133 (0)	1.20 (0.020)
U8	0.015 (0.002)	0.082 (0.002)	1.23 (0.010)
U9	0.016 (0)	0.078 (0)	1.25 (0.010)
U10	0.018 (0.001)	0.069 (0.001)	1.24 (0.020)
U11	0.017 (0)	0.074 (0)	1.25 (0.020)

*Standart sapma değerleri parantez içinde verilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların termal direnç değerleri $0.009 - 0.031 m^2K/W$ arasında değişim göstermiştir (Tablo 3.8). Kumaşlar arasında Kermel® lifi içerikli U2 kodlu numune en yüksek termal direnç değerine ($0.031 m^2K/W$) sahip çıkmıştır. En düşük termal direnç değerine ise Lenzing FR® içerikli U7 kodlu numune sahip çıkmıştır ($0.009 m^2K/W$).

U1 kodlu viskon lifi içerikli numune, ÜBBÖ kumaşlar içerisinde düşük termal direnç gösteren ($0.012 \text{ m}^2\text{K/W}$) kumaşlardan biri olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.34. ÜBBÖ kumaşların termal direnç test sonuçları.

Yüksek oranda Kermel® lifi içeren numuneler (U2, U3, U4) ve yüksek oranda Lenzing FR® lifi içeren U7 kodlu numune haricinde, diğer kumaşlarda (U5, U6, U8, U9, U10, U11) termal direnç değerleri birbirine yakın değerlerde çıkmıştır (Şekil 3.34). Yapısında daha yüksek oranda Kermel® lifini barındıran kumaşların (U2, U3, U4), ÜBBÖ kumaşlar içerisinde daha yüksek termal direnç değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu kumaş grubu içerisinde %99 oranla en çok Kermel® lifi ihtiva eden U2 kodlu numunenin termal direnç değerinin bu gruptaki diğer kumaşlara nispeten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($0.031 \text{ m}^2\text{K/W}$). Grup içerisindeki yüksek termal dirence sahip diğer iki kumaşta (U3, U4) ise, %62 Kermel® lifi içerikli U3 kodlu numunenin, %50 Kermel lifi içerikli U4 kodlu numuneden az da olsa yüksek termal dirence sahip olduğu görülmüştür. Böylece, yapıdaki Kermel® lifi oranı arttıkça, ÜBBÖ kumaşların termal yalıtım özelliğine olumlu yönde katkı sağladığı tespit edilmiştir. Bünyesinde, daha yüksek oranda Lenzing FR® lifi içeren kumaşlar (U6, U7, U8, U9) içerisinde, %85 oranında Lenzing FR® lifi ihtiva eden U7 kodlu numunenin hem bu kumaş grubu hem de tüm kumaşlar arasında en yüksek termal dirence ($0.009 \text{ m}^2\text{K/W}$) sahip olduğu görülmüştür. Bu gruptaki diğer kumaşların ise termal direnç değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Ayrıca, viskon lifi içerikli U1 kodlu referans numune ile karşılaştırıldığında, bu gruptaki yüksek oranda Lenzing FR® lifi içeren kumaşların U7 haricinde termal direnç değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, ilgili

kumaşlardaki Lenzing FR® lifi içeriğinin, bahsi geçen bu iki kumaşa göre çok daha düşük olmasından kaynaklandığı, dolayısıyla yapıdaki Lenzing FR® lifi içeriğindeki artışının, termal direnci azaltıcı etki sağladığı düşünülmüştür.

ÜBBÖ kumaşlardan elde edilen termal direnç değerleri, $p < 0.001$ ile %95 güven aralığında ($R^2 = 0.970$) anlamlı bulunmuştur.

ÜBBÖ kumaşların termal direnç test sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, kumaş yapısındaki Kermel® lifi oranındaki artışın termal direnci arttırıcı etki göstererek, termal yalıtım özelliğine olumlu yönde katkı sağladığı, bunun aksine Lenzing FR® lifi içeriğindeki artışın ise, termal direnci azaltıcı etki göstererek termal yalıtım özelliğine olumsuz yönde etkidiği saptanmıştır. ÜBBÖ kumaşlar arasında en düşük termal direnç değerine %85 Lenzing FR® lifi içerikli U7 kodlu kumaş sahip çıkmışken, en yüksek termal direnç değerine ise %99 Kermel® lifi içerikli U2 kodlu kumaş sahip çıkmıştır.

3.4. ÜBBÖ Kumaşların Boncuklanma Test Sonuçları

Boncuklanma kumaş yapısındaki liflerin kumaş yüzeyine çıkarak yüzeyde toplanmasıyla oluşan lif demetleridir. Sürtünmeye maruz kalan kumaş yüzeyinde öncelikle, sürtünme kuvvetlerinin iplik yapısından çekip çıkardığı, bir ucu iplik yapısı içerisinde, diğeri dışarıda serbest halde bulunan veya iplik yapısına girmeyen serbest lif uçları şeklinde havlar meydana gelmektedir. İplik yapısındaki lifin bir ucunun dışarıya doğru çekilmesi, iplikteki lifler arası sürtünme ve iplikler arasından geçerek dışarı çıkacak olan lifin eğilme-bükülmeye maruz kalarak meydan getirdiği tepki kuvvetinin, kumaşa uygulanan sürtünme kuvvetinden daha düşük seviyede olması durumunda gerçekleşmektedir [240, 241]. Örme kumaşlardaki boncuklanma eğilimi; lif tipi, ipliğin fiziksel karakterizasyonu ve kumaş yüzey yapısına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca kumaşlarda kullanılan ipliklerin tüylülük derecesi, büküm sayısı ve düzgünlüğü, buna bağlı olarak ta kalın yer ve neps yer sayısı boncuklanma eğilimini doğrudan etkilemektedir.

ÜBBÖ kumaşların boncuklanma testi, kumaşların kullanıcı ile temas eden ön yüz ile aşındırıcı kumaş temas edecek şekilde yapılmıştır. ÜBBÖ kumaşların boncuklanma test sonuçları Tablo 3.9’ da verilmiştir.

Tablo 3.9. ÜBBÖ kumaşların boncuklanma dereceleri.

Kumaş Kodu	500 Devir Sonu	1000 Devir Sonu	2000 Devir Sonu	5000 Devir Sonu	7000 Devir Sonu
U1	4/5	4	4	3/4	3/4
U2	3/4	3	3	2/3	2/3
U3	4/5	4	3/4	3	3
U4	4/5	4	3/4	3	3
U5	3/4	3	2/3	2	2
U6	4/5	4	4	3/4	3/4
U7	4/5	4	4	3/4	3/4
U8	4/5	4	4	3	3
U9	4/5	4	3/4	3	3
U10	4	3/4	3	2/3	2/3
U11	4/5	4	4	3/4	3/4

Aynı kumaş konstrüksiyonuna sahip olan numunelerin boncuklanma eğilimi dikkate alındığında, pamuk içerikli U5 numunesinin boncuklanma eğiliminin en yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 3.9). Bu kumaşın üretiminde kullanılan ipliğin tüylülük derecesi ve düzgünsüzlük değerlerinin yüksek olmasının bu davranışta etken olduğu düşünülmüştür. Öte yandan, kumaşlarda kullanılan ipliklerin tüylülük değerleri birbirine yakın seyretmektedir (Tablo 2.1). Verilen büküm değerleri ise birbirine çok yakındır. Kalın yer ve neps sayıları ise birbirinden büyük oranda farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, iplik özelliklerinden bağımsız olarak lif tipinin numuneler için boncuklanma açısından daha etkili olduğu görülmüştür. %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon iplik içerikli U6 numunesi ve %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon iplik içerikli U7 numuneleri birbirine yakın ve iyi boncuklanma dayanımı sonucunu vermişlerdir. Bunun sebebinin kumaş ipliklerinin ham madde olarak yüksek oranda ihtiva ettikleri viskon esaslı Lenzing FR® liflerinin düşük eğilme rijitliği özelliğinden dolayı gösterdiği düşük boncuklanma eğilimi olduğu düşünülmektedir. Öte yandan, literatürde aşınma ve boncuklanma dayanımının oldukça iyi olduğu belirtilen ve yapısı gereği eğilme rijitliği yüksek olan, sürtünen ön yüzünde %99 Kermel® ihtiva eden U2 numunesinin ise boncuklanma dayanımı beklentinin aksine diğer yapılara nispeten düşük çıkmıştır. Bu durumun ise, %99/1 Kermel®/karbon karışımı ipliğin kalın yer ve neps sayısının nispeten yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bununla birlikte, sürtünen ön yüzeyde kullanılan ipliklerinde Kermel® ihtiva eden numunelerde (U3, U4, U8 ve U9) boncuklanma eğilimi daha düşük çıkmıştır. Karışımlardaki Lenzing FR® oranındaki artışın ise boncuklanma eğilimine olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür. Ön yüzeyinde viskon ihtiva eden numunelerde (U1, U11) boncuklanma eğiliminin genel

sonuçlara göre iyi derece olduğu görülmüştür. Bu durum, viskon lifinin düşük eğilme rijitliğine sahip olmasından ve bunun yanı sıra, %99/1 viskon/karbon lifi karışımı iplikğin düşük tüylülük derecesine, kalın yer ve neps sayısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

ÜBBÖ kumaşların boncuklanma eğilimi test sonuçları değerlendirildiğinde, ön yüzünde eğilme rijitliği düşük olan Lenzing FR® lifi karışımı iplikler ve viskon ipliği bulunan kumaşların (U1, U6, U7) boncuklanma eğilimlerinin daha düşük olduğu, pamuklu kumaşın (U5) ise beklenildiği üzere en yüksek boncuklanma eğilimine sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan, ön yüzündeki ipliklerinde eğilme rijitliği yüksek olan Kermel® lifi oranı yüksek ve Twaron® lifi içeren kumaşların (U2, U10) da pamuklu kumaştan daha düşük boncuklanma eğilimine sahip olduğu görülmüştür. ÜBBÖ kumaşların test öncesi ve 7000 devir sonrası yüzey görüntüleri Ekler kısmında (Ek Şekil 19 – Ek Şekil 29) verilmiştir.

3.5. ÜBBÖ Kumaşların Statik Elektriklenme Test Sonuçları

Tekstil ürünleri için, “elektrostatik” veya “statik elektriklenme” terimi, lifin ve neticede kumaşın yüzeyinde nem içeriği ve sürtünmeye bağlı olarak bir birikim oluşturacak şekilde havadan elektrik yüklerini çekme ve tutma kabiliyetidir. Elektrik, kumaşın kendi kendine ya da bir başka kumaş ya da cisme sürtünmesi ile oluşturulur. Statik elektriklenme, hem kullanım hem de çalışma karakteristiğidir. Statik elektrik yükü, elyafın dolayısı ile kumaşın işlenmesini zorlaştırır, kumaş hatalarına neden olurlar. Konfeksiyon halinde ise elektrik yükü atlaması ile çarpmaya, giysinin bir birine yapışmasına ya da giyene yapışmasına neden olurlar. Havadaki toz ve kirleri çekerler [156]. EN 1149-1 standardı [220]’ na göre, koruyucu giysi kumaşının antistatik özellikte olması için yüzey direncinin $5.0 \times 10^{10} \Omega$ ’ dan daha düşük bir değerde olması gerekmektedir.

ÜBBÖ kumaşların statik elektriklenme özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanıcı tenine temas edecek taraf olan kumaş ön yüzünün yüzey direnci değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Test sonucu ÜBBÖ kumaşlarda 4.0×10^9 - $5.0 \times 10^{12} \Omega$ arasında değişen yüzey direnci değerleri elde edilmiştir. İki yüzeyinde farklı kompozit iplikler kullanılan numuneler (U3, U8, U9 ve U11) haricinde, ön ve arka yüzü aynı olan diğer

kumaşların çoğunluğunda her iki yüzdeki ölçümde aynı yüzey direnci değeri elde edilmiştir (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. ÜBBÖ kumaşların statik elektriklenme test sonuçları.

Kumaş Kodu	Yüzey Direnci (Ω)	
	Ön Yüz	Arka Yüz
U1	6.83×10^{10}	6.83×10^{10}
U2	5.0×10^{11}	5.0×10^{11}
U3	4.0×10^9	3.5×10^{11}
U4	7.0×10^9	7.0×10^9
U5	1.36×10^{11}	1.36×10^{11}
U6	4.0×10^{10}	2.33×10^{10}
U7	2.23×10^{10}	2.13×10^{10}
U8	5.0×10^9	4.83×10^8
U9	6.17×10^9	2.33×10^{10}
U10	5.0×10^{12}	5.0×10^{12}
U11	9.67×10^{10}	5.0×10^{11}

Dolayısıyla, yüzeylerindeki farklı lif içerikleri bu numunelerin ön ve arka yüzlerindeki statik elektriklenme değerlerini değiştirmiştir. ÜBBÖ kumaşlarda statik elektriklenmeyi giderme amacıyla kompozit ipliklerin yapısına eklenen %1 oranındaki karbon lifinin tüm kumaşlar için bu özelliği yeterince sağlayamadığı görülmüştür. Üretilen ÜBBÖ kumaşların ön yüzey direnci dikkate alındığında; U2, U5 ve U10 numuneleri haricindeki diğer tüm kumaşların yüzey direncinin $5.0 \times 10^{10} \Omega$ ’ dan düşük olduğu veya bu değere çok yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.10). Böylece, bu üç numune hariç diğer ÜBBÖ kumaş yapılarının çoğunluğunda statik elektriklenme probleminin giderildiği, bazılarında (U1, U11) da nispeten azaltıldığı görülmüştür. U4 numunesi gösterdiği $7.0 \times 10^9 \Omega$ yüzey direnci değeriyle statik yükü boşaltımını diğer kumaşlara göre daha iyi yapmış ve iyi derecede antistatik özellik göstermiştir. Ayrıca, ön yüzünde %99/1 viskon/karbon lifi içeren U1 ve U11 numunelerinde ise, bu değer $5.0 \times 10^{10} \Omega$ ’ dan çok az yüksek çıkmıştır. Öte yandan, özellikle %99/1 Twaron®/karbon lifi içeren U11 ($5.0 \times 10^{12} \Omega$), %99/1 Kermel®/karbon lifi içeren U2 ($5.0 \times 10^{11} \Omega$) ve %99/1 pamuk/karbon lifi içeren U5 ($1.36 \times 10^{11} \Omega$) numunelerinin yüzeyinde elektriksel direnç değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Bu durumun, kuru halde elektriksel iletkenliği düşük olan pamuğun yanı sıra, Twaron® ve Kermel® liflerinin elektriksel iletkenliğinin zayıf olması ve buna paralel olarak yüzey dirençlerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla, bu liflerin yüksek oranda kullanıldığı kumaş yüzeylerinde statik elektriklenme problemi daha çok ön plana çıkmıştır.

ÜBBÖ kumaşların statik elektriklenme test sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, statik elektriklenmeyi giderme veya mümkün olduğunca azaltma ve yüzeyden etkin bir yük boşaltımı amacıyla kompozit ipliklerin yapısına eklenen karbon lifi yüzdesinin tüm kumaşlar için bu özelliği sağlamada yeterli olmadığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, genelinde statik elektriklenme özelliği yüksek olarak bilinen sentetik liflerin kullanıldığı ÜBBÖ kumaşlarda, her iki yüzünde de üzerindeki statik yükü boşaltımını diğer kumaşlara göre daha iyi yapan ve iyi derecede antistatik özellik gösteren kumaş; her bölgesinde %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon karışımı iplik kullanılarak üretilmiş U4 numunesi olmuştur.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde, çeşitli kamu kurumlarında ve muhtelif sanayi dallarında çalışanların görevlerini güvenli bir şekilde yerine getirebilmesi amacıyla kullanılan ve temel işlevi dış etmenlere karşı koruma olan koruyucu giysilerin aynı zamanda giyim konforu da sağlaması istenmektedir. Koruyucu giysi kumaş tasarımının giysinin fonksiyonel yapısı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Bu açıdan koruyucu giysilerde astar tasarımı önem taşımaktadır. Çok katlı kumaş yapısında oluşan koruyucu giysi tasarlanırken, vücutla temas eden kumaş katmanının hızlı bir şekilde vücuttaki teri emmesi diğer katmanların da vücuttan emilen teri hızlı bir şekilde dış ortama transfer etmesi ve vücuttan uzaklaştırması amaçlanmıştır. Koruyucu giysilerde, bu transfer mümkün olmadığı için tüm tasarımın astar kısmında öngörülerek uygun konfor özelliklerini sağlama işi; gerek kumaş yapısı, gerekse lif seçimi bazında dikkatle yapılmalıdır.

Üç boyutlu boşluklu örme (ÜBBÖ) kumaşlar örme kumaş teknolojisinde son yirmi yıllık dönemdeki en hızlı gelişen örme kumaş yapıları arasındadır. Bu kumaşların en belirgin özellikleri yüksek hava geçirgenliği ve ısı özellikleri (termofizyolojik konfor), kalınlığı boyunca yaylanma özelliği (resilience), yalıtım (ses ve ısı) özelliği, eğilme performansı ve dökümlülük olarak sıralanabilir. Üretilen ÜBBÖ kumaşın fiziksel ve mekanik özellikleri, örme teknolojisine göre farklılık arz etmektedir. Kullanılan iplik özelliklerine bağlı olmak üzere, hazır giyimden teknik tekstillere kadar çok geniş bir kullanım alanına hitap edebilen özel bir kumaş yapısına sahiptir.

Bu çalışma kapsamında, şimdiye kadar gerçekleştirilen koruyucu giysilerin güç tutuşurluk, mekanik ve termal konfor özelliklerini ayrı ayrı katmanlarda farklı kumaşlar ile sağlamak yerine, üç boyutlu örme kumaş (ÜBBÖ) yapıları kullanılarak koruyucu

giysiler için multifonksiyonel yapıda (güç tutuşur, antistatik ve termofizyolojik konfor sağlayan) farklı astar kumaşı tasarımları geliştirilmesi yolu takip edilmiştir.

Aynı makine ayarlarında yuvarlak atkılı örme teknolojisiyle üretilmiş ÜBBÖ kumaşlarda farklı oranlarda fonksiyonel lifler (Kermel®, Lenzing FR®, Nexylon FR®, Twaron®, pamuk, viskon ve karbon) içeren kompozit iplikler kullanılmıştır. Kumaşlarda kullanılan fonksiyonel liflerin ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk performansı, termofizyolojik konfor ve antistatiklik özellikleri; kumaşlardaki fonksiyonel lif içerikleri ve özellikleri ile ÜBBÖ kumaş yapısı göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların fiziksel karakterizasyon testleri sonucunda, aynı makine ayarlarında üretilen kumaşların fiziksel özelliklerinde büyük oranda farklılık tespit edilmemişken, hem deneysel çalışmada kullanılan kompozit iplikler, hem de ÜBBÖ kumaşlar fiziksel açıdan gerekli kalite ve performans özelliklerini sağlamışlardır.

ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk performansına ışık tutacak TG eğrileri, yüksek performanslı lif karışımlarından elde edilen kompozit iplikler kullanılarak üretilen kumaşların bu performans özelliğini istenen düzeyde sağlayabileceğini göstermiştir. Numunelerin DSC analizi sonuçlarındaki ısı akış eğrileri, ÜBBÖ kumaşlarda meydana gelen bozunumun hızlı geliştiği sıcaklık bölgelerini ve bozunum miktarlarını kanıtlar nitelikte çıkmıştır.

ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk performansları değerlendirildiğinde, özellikle koruyucu giyside termal astar olarak kullanılması planlanan bu kumaşlarda kullanılan kompozit ipliklerin, yeterli düzeyde güç tutuşurluk sağlayabileceği görülmüştür. Kumaşlarda kullanılan Kermel® ve Twaron® lifleri güç tutuşurluk performansını artırmıştır. ÜBBÖ kumaşlar arasında güç tutuşurluk performansı en yüksek olan kumaş, %99 Twaron® lifi içerikli U10 kodlu ÜBBÖ kumaş olarak tespit edilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların hava geçirgenliği değerlendirildiğinde, yapısında Twaron® ihtiva eden kumaşların (U10, U11), diğer kumaşlara oranla çok daha yüksek sonuçlar verdiği, ayrıca, kumaş yapısında Lenzing FR® oranı arttıkça da hava geçirgenliği özelliğinde iyileşme meydana geldiği tespit edilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların tek katmanlı su buharı geçirgenliği sonuçları değerlendirildiğinde, kumaşların ön yüzünden hava geçirgenliği seviyelerindeki artışın genel itibarıyla bağlı

su buharı geçirgenliğini artırdığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla ÜBBÖ kumaşlar arasında en yüksek hava geçirgenliği değerine sahip olan U10 kodlu Twaron® lifi içerikli kumaşı en yüksek bağıl su buharı geçirgenlik değerine sahip kumaş çıkmıştır. Ayrıca, Lenzing FR® lifi içerikli kumaşların (U3, U4, U6, U7, U8, U9) bağıl su buharı geçirgenliğinin, viskon referans kumaşın (U1) bağıl su buharı geçirgenliğinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Çok katmanlı koruyucu giysiyi simüle amaçlı oluşturulan katmanlı sistemlerin bağıl su buharı geçirgenliğinin test sonuçları göz önüne alındığında, ilk olarak iç giyimi simüle eden tek katlı süprem örgü kumaş ile nem bariyerini simüle eden PE filmin üst üste kombinasyonu ile yapılan ölçümde su buharı geçirgenliği sıfıra yakın bir değer verdiği tespit edilmiştir. Ancak, giysi sistemini oluşturan katmanlı yapının (PE film + ÜBBÖ + Süprem kumaş) bağıl su buharı geçirgenliği değerlerinin, emsal PE film + süprem kumaşın bağıl su buharı geçirgenliği değerinden 2 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum ÜBBÖ kumaşların içten içe (in-plain) geçirgenlik özelliğinin ve dolayısıyla termofizyolojik konfora olan olumlu katkısını açık bir biçimde ortaya koymuştur. Bununla birlikte, oluşturulan çok katmanlı sistemlerin su buharı geçirgenliği ölçüm sonuçlarının tek katmanda elde edilen ölçümlere oranla düşük olduğu, fakat ÜBBÖ kumaş yapısının su buharı geçişinin hem üstten hem de kalınlık yönünden sağlayabilmesi sayesinde, belirli oranda su buharı geçirgenliğini sağladığı tespit edilmiştir.

ÜBBÖ kumaşların termal direnç test sonuçları değerlendirildiğinde, kumaş yapısındaki Kermel® lifi oranındaki artışın termal direnci artırıcı etki göstererek, termal yalıtım özelliğine olumlu yönde katkı sağladığı, bunun aksine Lenzing FR® lifi içeriğindeki artışın ise, termal direnci azaltıcı etki göstererek termal yalıtım özelliğine olumsuz yönde etkidiği saptanmıştır. ÜBBÖ kumaşlar arasında en düşük termal direnç değerine %85 Lenzing FR® lifi içerikli U7 kodlu kumaş sahip çıkmışken, en yüksek termal direnç değerine ise %99 Kermel® lifi içerikli U2 kodlu kumaş sahip çıkmıştır.

ÜBBÖ kumaşların boncuklanma eğilimi test sonuçları değerlendirildiğinde, ön yüzünde eğilme rijitliği düşük olan Lenzing FR® lifi karışımli iplikler ve viskon ipliği bulunan kumaşların (U1, U6, U7) boncuklanma eğilimlerinin daha düşük olduğu, pamuklu kumaşın (U5) ise beklenildiği üzere en yüksek boncuklanma eğilimine sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan, ön yüzündeki ipliklerinde eğilme rijitliği yüksek olan

Kermel® lifi oranı yüksek ve Twaron® lifi içeren kumaşların (U2, U10) da pamuklu kumaştan daha düşük boncuklanma eğilimine sahip olduğu görülmüştür.

ÜBBÖ kumaşların statik elektriklenme test sonuçları değerlendirildiğinde, statik elektriklenmeyi giderme veya mümkün olduğunca aza indirme ve yüzeyden etkin bir yük boşaltımı amacıyla kompozit ipliklerin yapısına eklenen karbon lifi yüzdesinin tüm kumaşlar için bu özelliği sağlamada yeterli olmadığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, genelinde statik elektriklenme özelliği yüksek olarak bilinen sentetik liflerin kullanıldığı ÜBBÖ kumaşlarda, her iki yüzünde de üzerindeki statik yükü boşaltımını diğer kumaşlara göre daha iyi yapan ve iyi derecede antistatik özellik gösteren; her bölgesinde %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lifi karışımı iplik kullanılan U4 numunesi olmuştur.

ÜBBÖ kumaşlardan elde edilen güç tutuşurluk, termofizyolojik konfor ve statik elektriklenme test sonuçları göz önüne alındığında, ÜBBÖ kumaşlar arasında optimum performans sağlayan kumaşın; her bölgesinde %50/49/1 Kermel/Lenzing FR®/karbon lifi karışımı ipliği kullanılan U4 kodlu kumaş olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Öneriler

Bu çalışma kapsamında farklı fonksiyonel liflerinin karışımıyla üretilen ve koruyucu giysilerin astar kısmında kullanılması hedeflenen ÜBBÖ kumaşların farklı performans özelliklerini bir arada sunabilecek multifonksiyonel yapıda oldukları görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında üretilen ÜBBÖ kumaş numunelerinin güç tutuşurluk performansı, termofizyolojik konfor ve antistatiklik özellikleri değerlendirildiğinde yapılacak sonraki deneysel çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- ÜBBÖ kumaşların güç tutuşurluk özellikleri literatür çalışmasında bahsedilen farklı ölçüm yöntemleri ile farklı standartlar esas alınarak değerlendirilebilir.
- Multifonksiyonel yapıda olması hedeflenerek üretilmiş ÜBBÖ kumaşların, bu çalışma için geri planda tutulan mekaniksel özelliklerinin daha da iyileştirilmesi amacıyla, farklı yüksek performanslı lifler de yapı içerisine farklı oranlarda dahil edilebilir.
- Çalışma kapsamında aynı makine ayarlarında ve aynı desen raporuyla üretilen ve benzer fiziksel karakterizasyona sahip ÜBBÖ kumaşlar için, kullanılan lif tipleri ve oranları aynı kalmak şartıyla, farklı makine düzenlemeleri yapılarak,

farklı desenlerde ÜBBÖ kumaşlar üretilerek; kumaş yapısının ilgili performans özelliklerine etkisi incelenebilir.

- Kullanıcıya temas edecek yüzeyde ÜBBÖ kumaş yapısına gümüş lifi dahil edilerek, kumaşların multifonksiyonel yapısına antibakteriyel özellik te dahil edilebilir.
- Çalışma kapsamında ÜBBÖ kumaşlarda kullanılmak üzere farklı fonksiyonel liflerle %1 karbon lifi karıştırılarak üretilmiş kompozit ipliklerde, antistatiklik özelliğini de daha üst düzeye çekmek amacıyla, kullanılan karbon lifi oranı artırılabilir veya yeterli olacak oranda farklı iletken lifler yapıya dahil edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Önal, L., 2004. Structure and applications of 3d knitted spacer fabrics. *II International Istanbul Textile Congress*, April 22 – 24, 2004, Istanbul.
2. <http://www.freepatentsonline.com/6634190.html>, (Erişim tarihi: Aralık 2013).
3. <http://www.knittingindustry.com/new-dimension-in-technical-knits-from-mayer-cie/>, (Erişim tarihi: Aralık 2013).
4. <http://www.beyzantekstil.com>, (Erişim tarihi: Aralık 2013).
5. <http://www.made-in-china.com/showroom/meilijacky/productdetailrbjJSLpTYucV/ChinaSpacer-Fabric-Air-Mesh-Fabric-ML-101-.html>, (Erişim tarihi: Aralık 2013).
6. Philips, D., Verpoest, I., Van Raemdonck, J., 1995. Evaluation of the out of plain properties of 3d knitted fabric composites. In: *proceedings of the ICCM-10 Vol VI*, pp. 349 – 356.
7. <http://www.lookchina.com/news.html>, (Erişim tarihi: Aralık 2010).
8. Heide, M., 1998. Functional knitted spacer fabrics in medical application. **Melliand Textilberichte**, **79** (6): 107 – 110.
9. Anand, S., 2003. Spacers at the technical frontier. **Knitting International**, **110** (1305): 38 – 41.
10. Pereira, S., Anand, S. C., Rajendran S., Wood, C., 2007. A study of structure and properties of novel fabrics for knee braces. **Journal of Industrial Textiles**, **36** (4): 279 – 300.
11. Shanna M. B., 2005. Three-dimensionally knit spacer fabrics: A review of production techniques and applications. **Journal of Apparel Technology and Management**, **4**: 1 – 29.
12. Önal, L., 2009. 3D sandviç örme makine teknolojisi. Ders Notları, Mayıs, 2012.

13. Pause, B., 2002. Studies on the thermophysiological comfort provided by knitted spacer fabrics. **Melliand International**, **8** (1): 57 – 60.
14. Heide, M., Siegert, D., Schurer, M., Hansel, R., Swerev, M., Klein, P., 2002. Functional warp-knitted spacer fabrics for operating tables in the case of long term operations. **Kettenwirk-Praxis**, **1**: 25 – 28.
15. Bagherzadeh, R., Montezar, M., Latifi, M., Sheikhzadeh, M., Sattari, M., 2007. Evaluation of comfort properties of polyester knitted spacer fabrics finished with water repellent and antimicrobial agents. **Fibers and Polymers**, **8** (4): 386 – 392.
16. Abounaim, M. D., Cherif, C., 2012. Flat-knitted innovative three-dimensional spacer fabrics: a competitive solution for lightweight composite applications. **Textile Research Journal**, **82** (3): 288 – 298.
17. Liu, Y., Hu, H., Long, H., Zhao, L., 2012. Impact compressive behavior of warp-knitted spacer fabrics for protective applications. **Textile Research Journal**, **82** (8): 773 – 788.
18. Guo, X., Long, H., Zhao, L., 2013. Investigation on the impact and compression-after-impact properties of warp-knitted spacer fabrics. **Textile Research Journal**, **83** (9): 904 – 916.
19. Guo, X., Long, H., Sun, Y., Zhao, L., 2013. Theoretical modeling of spacer-yarn arrangement for warp-knitted spacer fabrics and experimental verification. **Textile Research Journal**, **83** (14): 1467 – 1476.
20. Xuhong, M., Xiangyong, K., Gaoming, J., 2013. The experimental research on the stab resistance of warp-knitted spacer fabric. **Journal of Industrial Textiles**, **43** (2): 281 – 301.
21. Marmarali A., Gorken, S. O., 2005. Dimensional and physical properties of 3-D fabrics produced on the flat knitting machines. **Indian Journal of Fibre and Textile Research**, **30** (4): 371 – 376.
22. <http://www.stoll.com/stoll-produkte/cms-530-hp-en>, (Erişim tarihi: Aralık 2013).

23. Ertekin G., Marmarali A., 2011. Heat, air and water vapor transfer properties of circular knitted spacer fabrics. **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi**, 21 (4): 369 – 373.
24. Anand, S. C., 2003. Recent advances in knitting technology and knitted structures for technical textiles applications, pp. 96 – 113. In: *proceeding of the ISTEK 2003 International Isparta Textile Congress*, 2003, Isparta.
25. Bruer, M., Powell, N., Smith, G., 2005. Three-dimensionally knit spacer fabrics: a review of production techniques and applications. **Journal of Textile and Apparel, Technology and Management**, 4 (4): 1 – 29.
26. Mayer&Cie. Circular Knit Machines, Technit D3 Catalogue.
27. http://www.terrot.de/en/products/machine_type/2/double_jersey/13/i3p254-23.aspx, (Erişim tarihi: Aralık 2013).
28. <http://www.fukuhara.com>, (Erişim tarihi: Mayıs 2011).
29. <http://www.orizio.com/MAT-E.php>, (Erişim tarihi: Aralık 2013).
30. Kowalski, K., Bednarski, G., 1999. Structure and features of a new group of knitted spacer fabrics, **Melliand Textilberichte**, 80 (5): 98 – 99.
31. De Araujo, M., Fangueiro, R., Hong, H., 2003. Modelling and simulation of the mechanical behavior of weft knitted fabrics for technical applications. **AUTEX Research Journal**, 3 (4): 166 – 172.
32. De Araujo, M., Fangueiro, R., Geraldles, M., 2005. Developing fibrous multifunctional structures for technical applications. **AUTEX Research Journal**, 5 (1): 49 – 54.
33. Onal, L., Korkmaz, M., 2006. Physical and dimensional properties of multilayered knitted upholstery fabrics. In: *proceeding of the 1st International Textile and Textile Machines Congress*, June 01 – 02, 2006, İstanbul.
34. Crina, B., Blaga, M., Luminita, V., Mishra, R., 2013. Comfort properties of functional weft knitted spacer fabrics. **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi**, 23 (2): 220 – 227.

35. Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T., Tarakçıoğlu, I., 2007. Teknik tekstiller ve kullanım alanları (Bölüm 2). **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi**, 17 (3): 154 – 160.
36. Herzberg, C., Rödel, H., Engelmann, E., 2001. New shielding protective equipment for live working. **International Journal of Clothing Science and Technology**, 13 (3): 301 – 308.
37. OR – OSHA Technical Manuel, Chemical protective clothing, pp. 1 – 20. *In: Personal Protective Equipment, Chapter I, Section VII.*
38. <http://www.klopman.com>, (Erişim tarihi: Ekim 2012).
39. <http://www.karcher-futuretech.com>, (Erişim tarihi: Ekim 2012).
40. <http://www.spintech-online.com>, (Erişim tarihi: Ekim 2013).
41. Makinen, H., 2005. Firefighters' protective clothing, pp. 622 – 642. *In: Textiles for Protection (Ed. R. A., Scott). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.*
42. Stull, O. J., Connor, M. B., McCarthy, R. T., 1996. Protective clothing and equipment performance requirements for fire service urban search and rescue teams, pp. 558 – 572. *In: Performance of Protective Clothing (Eds. J. S., Johnson, S. Z., Mansdorf). ASTM Special Technical Publication, Philadelphia.*
43. Donarski, R., Poulin, S., 2004. Wildland fire environment paper prepared by ISO/TC 94/SC14/WG 3/PG 3 for support in the development of ISO 16073 – wildland firefighting personal protective equipment standard, ISO/TC 94/SC14/WG 3/PG 3 N022. Secretariat: Standards Australia, GPO Box 5420 Sydney, NSW 2001, 286 Sussex Street, Sydney, NSW 2000.
44. Holmes, D. A., 2000. Waterproof breathable fabrics, pp. 281 – 315. *In: Handbook of Technical Textiles – Firefighters' Protective Clothing (Eds. A. R., Horracks, S. C., Anand). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.*

45. <http://www.iaff.org/safe/health/alerts/alert06.html>, (Erişim tarihi: Kasım 2012).
46. Shishoo, R., 2002. Recent developments in materials for use in protective clothing. **International Journal of Clothing Science and Technology**, **14** (3/4): 201 – 215.
47. Adams, P., S., 1994. A model for protective clothing effects on performance. **International Journal of Clothing Science and Technology**, **6** (4): 6 – 16.
48. Nunneley, S. A., 1989. Heat stress in protective clothing. Interactions among physical and physiological factors. **Scandinavian Journal Work Environment & Health**, **15** (1): 52 – 57.
49. Kutlu, B., Cireli, A., 2005. Thermal analysis and performance properties of thermal protective clothing. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, **13** (3): 58 – 62.
50. Cireli, A., 2000. Isıya ve Aleve Dayanıklı Koruyucu Giysiler. **Tekstil & Teknik Dergisi**, (191): 181 – 187.
51. Öktem, T., 2001. *Koruyucu Giysiler*. **Tekstil & Teknik Dergisi**, (193): 167 – 174.
52. Rossi, R. M., Zimmerli, T., 1996. Influence of humidity on the radiant, convective and contact heat transmission through protective clothing materials, pp. 269 – 280. *In: Performance of Protective Clothing* (Eds. J. S., Johnson, S. Z., Mansdrof). ASTM Special Technical Publication, Philadelphia.
53. ISO 6942:1993 Standard – Clothing for protection against heat and fire – Evaluation of the thermal behaviour of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
54. ISO/DIS 9151:1993 Standard – Protective clothing against heat and fire – Determination of heat transmission on exposure to flame. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

55. ISO/DIS 12127:1994 Standard – Clothing for protection against heat and flame – Determination of contact heat transmission through protective clothing or constituent materials. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
56. Çoban, S., 1999. Güç tutuşurluk bitim işlemleri. Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri. Ege Üniversitesi, Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, 180 – 201.
57. Kalın, M. B., 2008. Tekstil Yüzeylerinin Yanmaya Karşı Dirençlerinin Arttırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 86 s.
58. Schindler, W. D., Hauser, P. J., 2004. Flame-retardant finishes, pp. 98 – 116. *In: Chemical Finishing of Textiles.* Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 286 pp.
59. Özcan, G., 2002. Örme Kumaş Yapısının Güç Tutuşma Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 143s.
60. Özcan, O., Sağman, N., İnce, A., Sağlık, E., Oruç, A., Göktaş, G., Akgün, N., Dere, A., 2000., İşyerleri İçin Yangın Güvenlik Eğitimi. İtfaiye Eğitim Merkezi Yayınları No:2, İstanbul.
61. Yıldırım, F. F., Güçer, Ş., 2004. Yangın riskinin azaltılmasında güç tutuşur malzemelerin kullanımı ve performans testleri. **Kimya Teknolojileri Dergisi, Şubat: 38.**
62. <http://www.izoder.org>, (Erişim tarihi: Eylül 2012).
63. Başer, İ., 1992. Elyaf Bilgisi. **Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları**, (524): 136.
64. Bajaj, P., 2000. Heat and flame protection, pp. 223 – 259. *In Handbook of Technical Textiles* (Eds. R. A. Horrocks, S. C., Anand). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

65. Kutlu, B., 2002. Isıya Dayanıklı ve Isıdan Koruyucu Giysilerin Termal Analizi ve Performans Özellikleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 111 s.
66. Çimşit, M., 1999. Makine Halılarının Alev Alma Özellikleri ve Yanmaya Karşı Gösterdikleri Direnç. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 160 s.
67. Weil, E. D., Levchik, S. V., 2009. Flame Retardants for Plastics and Textiles Practical Applications. Hanser Publications, Cincinnati, 197 – 220.
68. Jeddi, A. A. A., Gorji, M., Hemmatinejad, N., 2005. Flame and burn resistance behavior of woven hybrid fabrics. *Amirkabir University of Technology, 2005, Tehran.*
69. Horrocks, A. R., Price, D. 2001. Textiles, pp. 128 – 181. Fire Retardant Materials (Eds. A. R. Horrocks, D., Price). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
70. Ganesan, P., 2007. Advances in protective fabrics. (Web page: <http://www.fibre2fashion.com>), (Erişim tarihi: Kasım 2012).
71. Chivas, C., Guillaume, E., Sainrat, A., Barbosa, V., 2009. Assessment of risks and benefits in the use of flame retardants in upholstered furniture in continental Europe. **Fire Safety Journal**, **44** (5): 801–807.
72. Brancatelli, G., Colleoni, C., Massafra, M. R., Rosace, G., 2011. Effect of hybrid phosphorusdoped silica thin films produced by sol-gel method on the thermal behaviour of cotton fabrics. **Polymer Degradation and Stability**, **96** (4): 483 – 490.
73. BS 5852: 2006 Standard – Methods of test for assessment of the ignitability of upholstered seating by smouldering and flaming ignition sources. British Standards Institution, London, England.
74. BS 5438: 1989 Standard – Flammability of textile fabrics when subjected to a small igniting flame applied to the face or bottom edge of vertically oriented specimens. British Standards Institution, London, England.

75. BS EN ISO 15025: 2002 Standard Protective clothing – Protection against heat and flame – Method of test for limited flame spread. British Standards Institution, London, England.
76. DIN 54335: 1977 Standard Testing of textiles – Determination of burning behaviour – 45°- method, ignition on the edge of the specimen. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Germany.
77. DIN 54332: 1975 Standard Testing of textiles – Determination of the burning behaviour of textile floor coverings. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Germany.
78. ASTM D2863: 2000 Standard – Measuring the minimum oxygen concentration to support candle-like combustion of plastics. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
79. BS 2782-1: 1986 Standard Method 141 – Methods of testing plastics. Thermal properties. Determination of flammability by oxygen index. British Standards Institution, London, England.
80. ISO 5659: 2006 Standard – Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
81. ISO 11358-1: 2013 Standard – Plastics – Thermogravimetry (TG) of polymers – General principles. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
82. Çoban, S., 1995. Tekstil mamüllerinin yanma davranışı ve güç tutuşurluk test yöntemleri. **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi**, 2: 135 – 143.
83. Özcan, G., et al., 2004. Tekstilde güç tutuşma teknikleri. **Tekstil & Teknik Dergisi**, (233): 318 – 329.
84. Reischl, U., Stransky, A., Delorme, H. R., Travis, R., 1982. Advanced prototype firefighter protective clothing: heat dissipation characteristics 1. **Textile Research Journal**, 52 (1): 66 – 73.

85. Day, M., Cooney, J. D., Suprunchuk, T., 1988. Durability of firefighters' protective clothing to heat and light. **Textile Research Journal**, **58** (3): 141 – 147.
86. Hirschler, M. M., Hoffmann, D. J., Hoffmann, J. M., Kelley, L., Kroll, M., 1996. Tests of the protective effect of clothing in apparel fires. **Journal of Fire Sciences**, **14** (2): 104 – 123.
87. Torvi, D. A., Dale, J. D., 2000. Numerical models for use in the design of protective clothing for firefighters. **Journal of Industrial Textiles**, **29** (4): 273 – 286.
88. Rossi, R. M., Bolli, W., Stampfli, R., 2008. Performance of firefighters' protective clothing after heat exposure. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, **14** (1): 55 – 60.
89. Gniotek, K., Golebiowski, J., Lesnikowski, J., 2009. Temperature measurements in a textronic fireman suit and visualisation of the results. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, **17** (1): 97 – 101.
90. Zhu, F., Cheng, X. P., Zhang, W., 2009. Estimation of thermal performance of flame resistant clothing fabrics sheathing a cylinder with new model. **Textile Research Journal**, **79** (3): 205 – 212.
91. Jiang, Y. Y., Yanai, E., Nishimura, K., Zhang, H., Abe, N., Shinohara, M., Wakatsuki, K., 2010. An integrated numerical simulator for thermal performance assessments of firefighters' protective clothing. **Fire Safety Journal**, **45** (5): 314 – 326.
92. Rebouillat, S., 2001. Aramids, pp. 23 – 61. *In: High Performance Fibres – Chemically Resistant Fibres* (Ed. J. W. S., Hearle), Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
93. Shishoo, R., 2000. Innovations in fibres and textiles for protective clothing, pp. 79 – 82. *Ergonomics of Protective Clothing Proceedings of nokobetef 6 and 1st European Conference on Protective Clothing*, May 7 – 10, 2000, Stockholm.

94. McIntosh, B., 2001. Poly(etheretherketones) fibres, pp. 267 – 274. *In: High Performance Fibres – Chemically Resistant Fibres* (Ed. J. W. S., Hearle). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
95. Horrocks, A. R., 2001. Poly(phenylene sulphide) fibres, pp. 274 – 277. *In: High Performance Fibres – Chemically Resistant Fibres* (Ed. J. W. S., Hearle). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
96. Eichhorn, H., 2001. Novoloid fibres, pp. 292 – 298. *In: High Performance Fibres – Thermally Resistant Fibres* (Ed. J. W. S., Hearle). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
97. Conciatori, A. B., 1985. Polybenzimidazole fibers, pp. 221–268. *In: Handbook of Fibre Science and Technology* (Eds. M., Lewin, J., Preston). CRC Press, New York.
98. Thomas, C., 2001. Polybenzimidazole fibres, pp. 310 – 318. *In: High Performance Fibres – Thermally Resistant Fibres* (Ed. J. W. S., Hearle). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
99. <http://www.tecfiber.com>, (Erişim tarihi: Kasım 2012).
100. Gstettner, A., 2010. Thermoregulation and physiological performance of personal protective clothing. *4th International Technical Textiles Congress*, May 16 – 18, 2010, İstanbul.
101. <http://www.emsgriltech.com>, (Erişim tarihi: Kasım 2013).
102. Grabowska, K. E., 2001. Personal protection by textiles in the focus of stabilisation thermal conditions, pp. 72 – 75. *Texnitex 2001 Autex Conference, The University of Minho, Portugal*.
103. Barnes, J.C., Holcombe, B.V., 1996. Moisture sorption and transport in clothing wear. **Textile Research Journal**, **66** (12): 777 – 786.
104. Hes, L., 2010. Thermophysiological properties of textile fabrics in wet state / The use of comfort parameters in marketing of functional garments and clothing. *Ders Notları*, Mayıs, 2010, Kayseri.
105. Uçar, N., Yılmaz, T., 2004. Thermal properties of 1*1, 2*2, 3*3 rib knit fabrics. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, **12** (3): 34 – 38.

106. Çoban, S., Namlığöz, E., S., 2005. Termofizyolojik giysi konforu ve test cihazları. **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi**, (4): 15.
107. Güneşoğlu, S., 2003. Giysilerde konfor özellikleri. **Tekstil Konfeksiyon Teknolojisi Dergisi**, (16): 64 – 72.
108. Hes, L., 2004. Clothing Comfort. *Ders Notları*, Aralık, 2004, Kayseri.
109. Yoo, H. S., Hu, Y. S., 2000. Effects of heat and moisture transport in fabrics and garments determined with a vertical plate sweating skin model. **Textile Research Journal**, 70 (6): 542 – 549.
110. Havenith, G., 2002. The interaction of clothing and thermoregulation. **Exogenous Dermatology**, 1 (5): 221 – 230.
111. Kaplan, S., Okur, A., 2005. Kumaşların geçirgenlik-iletkenlik özelliklerinin giysi termal konforu üzerindeki etkileri. **Tekstil Maraton Dergisi**, Mart-Nisan: 56 – 65.
112. Holcombe, B.V., Hoschke, N., 1983. Dry heat transfer characteristics on underwear fabrics. **Textile Research Journal**, 53 (3): 368 – 374.
113. Tao, X., 2001. Smart Fibres, Fabrics and Clothing, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 321 pp.
114. Morton, W. E., Hearle, J. W., 1975/1993. Physical properties of textile fibres. The Textile Institute & William Heinemann Limited, Manchester, 725 pp.
115. Oltulu, D., Gürler, T., 2003. Örme Kumaşların Tutum Özellikleri ve Değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi, İzmir.
116. Greyson, M., 1983. Encyclopedia of Composite Materials and Componenets. Wiley & Sons, USA.
117. Sampath, M. B., Aruputharaj, A., Senthilkumar, M., Nalankili, G., 2012. Analysis of thermal comfort characteristics of moisture management finished knitted fabrics made from different yarns. **Journal of Industrial Textiles**, 42 (1): 19 – 33.

118. Baxter, S., 1946. The thermal conductivity of textiles. **Proceedings of the Physical Society**, **58** (1): 105 – 118.
119. Ertekin, G., Marmaralı, A., 2011. Askı ve atlamamanın düz örgü kumaşların ısı konfor özelliklerine etkileri. **The Journal of Textiles and Engineer**, **18** (83): 21 – 26.
120. http://www.ehow.com/list_6298742_thermal-properties-fabric.html, (Erişim tarihi: Kasım 2012).
121. Tokura, H., Midorikawatsurutani, T., 1985. Effects of hygroscopically treated polyester blouses on sweating rates of sedentary women at 33 °C. **Textile Research Journal**, **55** (3): 178 – 180.
122. Spencer-Smith, J. L., 1977. The physical basis of clothing comfort, part 4: the passage of heat and water through damp clothing assemblies. **Clothing Research Journal**, **5** (3): 116 – 128.
123. Abdel – Rehim, Z. S., Saad, M. M., El-Shakankery, M., Hanafy, I., 2006. Textile fabrics as thermal insulators. **AUTEX Research Journal**, **6** (3): 148 – 161.
124. Güneşoğlu, S., 2005. Sportif Amaçlı Giysilerin Konfor Özelliklerinin Araştırılması. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa, 200 s.
125. Hes, L., 2002. Recent developments in the field of users friendly testing of mechanical and comfort properties of textile fabrics and garments. *Proceedings of the World Congress of the Textile Institute*, March, 2002, Cairo.
126. Pac, M. J., Bueno, M. A., Renner, M., 2001. Warm-cool feeling relative to tribological properties of fabrics. *Textile Research Journal*, **71** (19): 806 – 812.
127. Matusiak, M., 2006. Investigation of the thermal insulation properties of multilayer textiles. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, **14** (5): 98 – 102.

128. Tarafdar, N., 1995. Selection of appropriate clothing in relation to garment comfort. **Man-Made Textiles in India**, **38**: 17 – 20.
129. Satsumoto, Y., Ishikawa, K., Takeuchi, M., 1997. Evaluating quasi-clothing heat transfer: a comparison of the vertical hot plate and the thermal manikin. **Textile Research Journal**, **67** (7): 503 – 510.
130. Önal, L., Yıldırım, M., 2012. Comfort properties of functional three-dimensional knitted spacer fabrics for home-textile applications. **Textile Research Journal**, **82** (17): 1751 – 1764.
131. Gibson, P. W., 1993. Factors influencing steady-state heat and water vapor transfer measurement for clothing materials. **Textile Research Journal**, **63** (12): 749 – 764.
132. Zang, P., Gong, R. H., 2001. Clothing air permeability and moisture regain on human thermal regulation during exercise, pp. 216 – 226. *Texnitex 2001 Autex Conference, The University of Minho, Portugal*.
133. Yasuda, T., Miyama, M., Muramoto, A., Yasuda, H., 1994. Dynamic water vapour and heat transport through layered fabrics- part III. **Textile Research Journal** **64** (8): 457 – 461.
134. Li, Y., Zhu, Q., Yeung, K. W., 2002. Influence of thickness and porosity on coupled heat and liquid moisture transfer in porous textiles. **Textile Research Journal**, **72** (5): 435 – 446.
135. Richards, M. G. M., McCullough, E. A., 2005. Revised interlaboratory study of sweating thermal manikins including results from the sweating agile thermal manikin. **Journal of ASTM International**, **2** (4): 27 – 39.
136. Huck, J., Maganga, O., Kim, Y., 1997. Protective overalls: evaluation of garment design and fit. **International Journal of Clothing Science and Technology**, **9** (1): 45 – 61.
137. Rossi, R., 2005. Interactions between protection and thermal comfort, pp. 233 – 253. *In: Textiles for Protection* (Ed. R. A., Scott). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

138. Lee, Y. M., Barker, R. L., 1986. Effect of moisture on the thermal protective performance of heat-resistant fabrics, **Journal of Fire Sciences**, **4** (5): 315 – 331.
139. Branson, D. H., Dejonge, J. O., Munson, D., 1986. Thermal response associated with prototype pesticide protective clothing. **Textile Research Journal**, **56** (1): 27 – 34.
140. Weder, M. S., Zimmerli, T., Rossi, R. M., 1996. A sweating and moving arm for the measurement of thermal insulation and water resistance of clothing, pp. 257 – 268. *In: Performance of Protective Clothing* (Eds. J. S., Johnson, S. Z., Mansdorf). ASTM Special Technical Publication, Philadelphia.
141. Zimmerli, T., Weder, M. S., 1997. Protection and comfort – a sweating torso for the simultaneous measurement of protective and comfort properties of PPE, pp. 271 – 280. *In: Performance of Protective Clothing* (Eds. J. O., Stull, A. D., Schwöpe). ASTM Special Technical Publication, Philadelphia.
142. Sun, G., Yoo, H. S., Zhang, X. S., Pan, N., 2000. Radiant protective and transport properties of fabrics used by wildland firefighters. **Textile Research Journal**, **70** (7): 567 – 573.
143. Yoo, S., Barker, R. L., 2004. Moisture management properties of heat – resistant workwear fabrics – effects of hydrophilic finishes and hygroscopic fiber blends. **Textile Research Journal**, **74** (11): 995 – 1000.
144. Lee, Y., Hong, K., Hong, S., 2007. 3D quantification of microclimate volume in layered clothing for the prediction of clothing insulation. **Applied Ergonomics**, **38** (3): 349 – 355.
145. Mao, N., Russell, S. J., 2007. The thermal insulation properties of spacer fabrics with a mechanically integrated wool fiber surface. **Textile Research Journal**, **77** (12): 914 – 922.
146. Li, J., Barker, R. L., Deaton, A. S., 2007. Evaluating the effects of material component and design feature on heat transfer in firefighter turnout

- clothing by a sweating manikin. **Textile Research Journal**, 77 (2): 59 – 66.
147. Guo, Y., Tokura, H., Wong, T., Chung, J., Wong, A. S. W., Gohel, M. D. I., Leung, P. H. M., 2008. Impact of fabric moisture transport properties on physiological responses when wearing protective clothing. **Textile Research Journal**, 78 (12): 1057 – 1069.
 148. Keiser, C., Becker, C., Rossi, R. M., 2008. Moisture transport and absorption in multilayer protective clothing fabrics. **Textile Research Journal**, 78 (7): 604 – 613.
 149. Cui, Z., Zhang, W., 2009. Study of the effect of material assembly on the moisture and thermal protective performance of firefighter clothing. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, 17 (6): 80 – 83.
 150. Güney, F., Üçgül, İ., 2010. Koruyucu giysiler içindeki nefes alabilir membranların termal yalıtım özellikleri. **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi**, 20 (1): 9 – 15.
 151. Zhiying, C., Yanmin, W., Weiyuan, Z., 2010. Thermal protective performance and moisture transmission of firefighter protective clothing based on orthogonal design. **Journal of Industrial Textiles**, 39 (4): 347 – 356.
 152. Wang, Y., Zong, Y., Li, J., Zhao, M., 2011. Evaluating the moisture transfer property of the multi layered fabric system in firefighter turnout clothing. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, 19 (6): 89.
 153. Li, J., Lu, Y., Li, X., 2012. Effect of relative humidity coupled with air gap on heat transfer of flame-resistant fabrics exposed to flash fires. **Textile Research Journal**, 82 (12): 1235 – 1243.
 154. Troynikov, O., Nawaz, N., Vu, S., 2012. Evaluation of surface characteristics of inner layer fabrics suitable for structural firefighters' clothing. **Textile Research Journal**, 82 (10): 1014 – 1025.
 155. http://www.armetr.com/upload/statik_elektrik_risk_yonetimi.pdf,
(Erişim tarihi: Aralık 2013).

156. Gonzalez, J. A., 2005. Elektrostatic protection, pp. 503 – 524. *Textiles for Protection* (Ed. R. A., Scott). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
157. Sello, S. B., Stevens, C. V., 1983. Antistatic treatments, pp. 291 – 315. *In: Handbook of Fiber Science and Technology* (Eds. M., Lewin, E. M., Pearce). Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
158. Hersh, S. P., Montgomery, D. J., 1952. Electrical resistance measurements on fibers and fiber assemblies. **Textile Research Journal**, **22** (12): 805 – 818.
159. Berkey, B. D., Pratt, T. H., Williams, G. M., 1988. Review of literature related to human spark scenarios. **Plant/Operations Progress**, **7** (1): 32 – 36.
160. Wilson, N., 1987. Effects of static electricity on clothing and furnishing. **Textiles**, **16** (1): 18 – 23.
161. Taylor, D. M., Secker, P. E., 1994. *Industrial Electrostatics: Fundamentals and Measurements*. Research Studies Press Limited, Somerset, 271 pp.
162. Hearle, J. W. S., 1953. The electrical resistance of textile materials: Parts I to IV. **Journal of The Textile Institute**, **44** (4): 177 – 198.
163. Crugnola, A. M., Robinson, H. M., 1959. Measuring and predicting the generation of static electricity in military clothing. Textile series, Report No. 110, Natick, MA: Quartermaster Research & Engineering Command, US Army.
164. Sereda, P. J., Feldman, R. F., 1964. Electrostatic charging on fabrics at various humidities. **Journal of The Textile Institute**, **55** (5): 288 – 298.
165. Onogi, Y., Sugiura, N., Nakaoka, Y., 1996. Dissipation of triboelectric charge into air from textile surfaces. **Textile Research Journal**, **66** (5): 337 – 342.
166. Onogi, Y., Sugiura, N., Matsuda, C., 1997. Temperature effect on dissipation of triboelectric charge into air from textile surfaces. **Textile Research Journal**, **67** (1): 45 – 49.

167. Rizvi, S. A. H., Crown, E. M., Gonzalez, J. A., Smy, P. R., 1998. Electrostatic characteristics of thermal-protective garment systems at various low humidities. **Journal of The Textile Institute**, **89** (4): 703 – 710.
168. Scott, R. A., 1981. Static electricity in clothing and textiles. *13th Commonwealth Defence Conference on Operational Clothing and Combat Equipment*, 1981, Malaysia.
169. Crow, R. M., 1991. Static electricity: A literature review. (DREO – TN – 91-28). Defence Research Establishment, Ottawa.
170. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/korona-olayi-elektrik-dersleri--elektrikport-a--/4557>, (Erişim tarihi: Aralık 2013).
171. <http://www.teias.gov.tr/ebulten/makaleler/2011/Korona/Korona.html>, (Erişim tarihi: Aralık 2013).
172. Wilson, N. 1982. Incendiary spark discharge due to static on clothing, pp. 97 – 113. *In: Protective Clothing*. Shirley Institute, Manchester.
173. Owens, J. E., 1984. Ignition hazards of charged dielectrics in flammable environments. **Industry Applications, IEEE Transactions on** (6): 1424 – 1430.
174. Glor, M., 1988. Electrostatic hazards in powder handling. Research Studies Press, Letchworth. Retrieved from, <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/7261306>.
175. Rizvi, S. A. H., Smy, P. R., 1992. Characteristics of incendive and non-incendive spark discharges from the surface of a charged insulator. **Journal of Electrostatics**, **27** (3): 267 – 282.
176. Matisoff, B. S., 1986. Handbook of electrostatic discharge controls. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
177. Owens, J. E., 1984. Hazards of personnel electrification: Nomex vs. NoMoStat., DuPont de Nemours & Co., Wilmington.
178. Coelho, R., 1985. The electrostatic characterization of insulating materials. **Journal of Electrostatics**, **17** (1): 1327.

179. Löbel, W., 1987. Antistatic mechanism of internally modified synthetics and quality requirements for clothing textiles, pp. 183 – 186. *Journal of Physics Conference Series – Electrostatics*, 85 (Ed. B. C., O'Neill). IOP Publishing Limited, Bristol.
180. Adamhasan, A. S., 2008. Poliester/Polianilin, Pamuk Polianilin Kompozit Kumaşlarının Hazırlanması ve Elektrik Özelliklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 96 s.
181. AATCC 76: 2000 Standard – Electrical resistivity of fabrics. American Association of Textile Chemists and Colourists, Research Triangle Park, USA.
182. ASTM D257: 1999 Standard – Test methods for DC resistance or conductance of insulating materials. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
183. Gonzalez, J. A., Rizvi, S. A., Crown, E. M., Smy, P. R., 1997. A modified version of proposed ASTM F23.20.05 – Correlation with human body experiments on static propensity, pp. 47 – 61. *In: Performance of Protective Clothing* (Eds. J. O., Stull, A. D., Schwoppe). ASTM Special Technical Publication, Philadelphia.
184. Veghte, J. H., Millard, W. W., 1963. Accumulation of static electricity on arctic clothing. Technical Report AAL – TDR, 63 – 12. Arctic Aeromedical Laboratory, Fort Wainwright, Alaska.
185. Wilson, N., 1977. The risk of fire or explosion due to static charges on textile clothing. **Journal of Electrostatics**, 4 (1): 67 – 84.
186. De Santis, J. A., Hickey, S. L., 1984. Investigation of electrostatic potential of extended cold wet clothing system (ECWS) (APG – MT – 6018). Aberdeen Proving Ground, Aberdeen.
187. Crown, E. M., 1995. Ignition hazards due to electrostatic discharges from protective fabrics under dry conditions. *In Final Report Presented to Alberta Occupational Health and Safety, Heritage Grant Program.* University of Alberta, Edmonton.

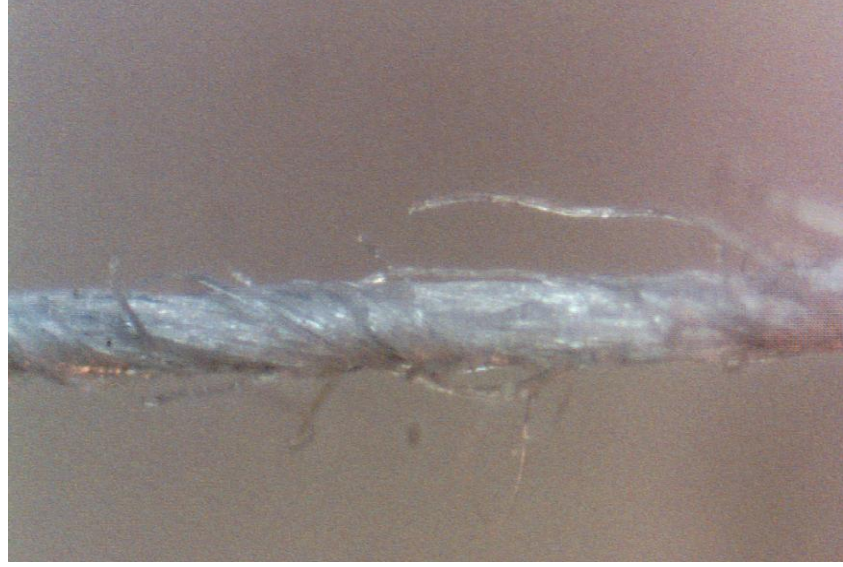
188. Rizvi, S. A. H., Crown, E. M., Osei-Ntiri, K., Smy, P. R., Gonzalez, J. A., 1995. Electrostatic characteristics of thermal-protective garments at low humidity. **Journal of The Textile Institute**, **86** (4): 549 – 558.
189. Bedeloğlu, A., Sünter, N., Bozkurt, Y., 2010. Elektriksel olarak iletken tekstil yapıları, üretim yöntemleri ve kullanım alanları. **Tekstil ve Mühendislik Dergisi**, **17** (79): 7 – 17.
190. <http://www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/IOLTP/2279/unite06.pdf>, (Erişim tarihi: Ocak 2010).
191. Tex Innovation, 2009. Techtextil Sempozyumu. **Tex Club Tec**, 42 – 43.
192. <http://www.fiberinoks.com>, (Erişim tarihi: Kasım 2012).
193. Süpüren, G., Çay, A., Kanat, E., Tarakçıoğlu, I., 2006. Antimikrobiyal lifler. **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi** **16** (2): 80 – 89.
194. Chung, D. D. L., 2001. Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials. **Carbon**, **39** (2): 279 – 286.
195. Walsh, P. J., 2001. Carbon fibers, pp. 35 – 40. *In: American Society for Metals Handbook*, ASM International, USA.
196. Yaman, N., Öktem, T., Seventekin, N., 2007. Karbon liflerinin özellikleri ve kullanım olanakları. **Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi**, (2): 90 – 95.
197. Uchida, E., Uyama, Y., Ikada, Y., 1991. Antistatik properties of surface – modified polyester fabrics. **Textile Research Journal**, **61** (8): 483 – 488.
198. Sano, Y., Konda, M., Lee, C. W., Kimura, Y., Saegusa, T., 1997. A facile antistatic modification of polyester fiber based on ion-exchange reaction of sulfonate- modified polyester and various cationic surfactants. **Die Angewandte Makromolekulare Chemie**, **251** (1): 181 – 191.
199. Seto, F., Muraoka, Y., Sakamoto, N., Kishida, A., Akashi, M., 1999. Surface modification of synthetic fiber nonwoven fabrics with poly(acrylic acid) chains prepared by corona discharge induced grafting. **Die Angewandte Makromolekulare Chemie**, **266** (1): 56 – 62.

200. Cheng, K. B., Ramakrishna, S., Lee, K. C., 2001a. Electrostatic discharge properties of knitted copper wire/glass fiber fabric reinforced polypropylene composites. **Polymer Composites**, **22** (2): 185 – 196.
201. Cheng, K. B., Ueng, T. H., Dixon, G., 2001b. Electrostatic discharge properties of stainless steel/polyester woven fabrics. **Textile Research Journal**, **71** (8): 732 – 738.
202. Lowkis, B., Motyl, E., 2001. Electret properties of polypropylene fabrics. **Journal of Electrostatics**, **51 – 52** (3): 232 – 238.
203. Nan, Y., 2001. The development of polyester antistatic fabric by using non-metal conductive fiber. **Journal of Textile Research**, **22** (2): 4 – 6.
204. Ueng, T. H., Cheng, K. B., 2001. Friction core-spun yarns for electrical properties of woven fabrics. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, **32** (10): 1491 – 1496.
205. Zhang, Y., Shi, M. W., 2001. Analysis of the measurement for antistatic fabric made of organic conductive fiber. **Wool Textile Journal**, **4**: 003.
206. Hains, N., Friscic, V., Gordos, D., 2003. Testing electrostatic properties of polyuretan coated textiles used for protective clothing. **International Journal of Clothing Science and Technology**, **15** (3/4): 250 – 257.
207. Huiying, M. H. M., 2003. Performance test and design of organic conductive fibre antistatic fabric. **Cotton Textile Technology**, **11**: 5.
208. Zhou, X., Liu, P., 2003. Study on antistatic modification of polyurethane elastomer surfaces by grafting with vinyl acetate and antistatic agent. **Journal of Applied Polymer Science**, **90** (13): 3617 – 3624.
209. Zhenzhou, C., 2004. Study the antistatic property of antistatic knitted fabric. **Journal of Textile Research**, (3): 36.
210. Pınar, A., Michalak, L., 2006. Influence of structural parameters of wale – knitted fabrics on their electrostatic properties. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, **14** (5): 69 – 74.
211. Zhipeng, D. J. Y., 2007. Design and development of antistatic fabric. **Cotton Textile Technology**, (5): 27.

212. Hamdaoui, M., Fayala, F., Perre, P., Ben Nasrallah, S., 2008. Experimental study of capillary rise in fabrics using an electrical resistance technique. **AUTEX Research Journal**, 8 (2): 44 – 48.
213. Chen, H. C., Lin, J. H., Lee, K. C., 2008. Electromagnetic shielding effectiveness of copper/stainless steel/polyamide fiber. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 27 (2): 187.
214. Bal, K., Kothari, V. K., 2009. Measurement of dielectric properties of textile materials and their applications. **Indian Journal of Fibre & Textile Research**, 34 (2): 191 – 199.
215. Cui, W., Wang, X., Li, W., Xu, W., 2009. Dynamic analysis on the thermal and electrical properties of fabrics in the process of moisture absorption and liberation. **International Journal of Clothing Science and Technology**, 21 (5): 279 – 285.
216. Neelakandan, R., Giridev, V. R., Murugesan, M., Madhusoothanan, M., 2009. Surface resistivity and shear characteristics of polyaniline coated polyester fabric. **Journal of Industrial Textiles**, 39 (2): 175 – 185.
217. Ramachandran, T., Vigneswaran, C., 2009. Design and development of copper core conductive fabrics for smart textiles. **Journal of Industrial Textiles**, 39 (1): 81 – 93.
218. Özyüzer, L., 2010. Antistatik properties of metal coated PP fibers prepared by magnetron sputtering. *4th International Technical Textiles Congress*, May 16 – 18, 2010, İstanbul.
219. Kowalski, J. M., Wroblewska, M., 2006. Premises for practical evaluation of the anti-electrostatic properties of protective garments. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, 14 (5): 23 – 28.
220. EN 1149-1: 2006 Standard Protective clothing – Electrostatic properties – Part 1: Test method for measurement of surface resistivity. European Committee for Standardization, Rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles, Belgium.

221. EN 1149-2: 1997 Standard Protective clothing – Electrostatic properties – Part 2: Test method for measurement of the electrical resistance through a material (vertical resistance). European Committee for Standardization, Rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles, Belgium.
222. EN 1149-3: 2004 Standard Protective clothing – Electrostatic properties – Part 3: Test methods for measurement of charge decay. European Committee for Standardization, Rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles, Belgium.
223. EN 1149-5: 2005 Standard Protective clothing – Electrostatic properties – Part 5: Performance requirements. European Committee for Standardization, Rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles, Belgium.
224. TS EN 14971 Standardı – Tekstil – Örölmüş kumaşlar – Birim uzunluk ve birim alan başına örgü ilmeği sayısının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
225. TS EN 14970 Standardı – Tekstil – Örölmüş kumaş – Tek iplikli örme kumaşlarda örgü ilmeği ve iplik doğrusal yoğunluğunun tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
226. TS 251 Standardı – Dokunmuş kumaşlar – Birim uzunluk ve birim alan kütlelerinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
227. TS 7128 EN ISO 5084 Standardı – Tekstil – Tekstil ve tekstil mamullerinin kalınlık tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
228. Özdi, N., Marmaralı, A., Kretzschmar, S. D., 2007. Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics. **International Journal of Thermal Sciences**, **46**: 1318 – 1322.
229. BS – EN – ISO 12945-2: 2000 Standard – Textiles – Determinations of fabric propensity to surface and to pilling part 2: Modified Martindale Method 50. British Standards Institution, London, England.
230. ASTM D3512: 2002 Standard– Photographic standards – Random tumble pilling test method. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.

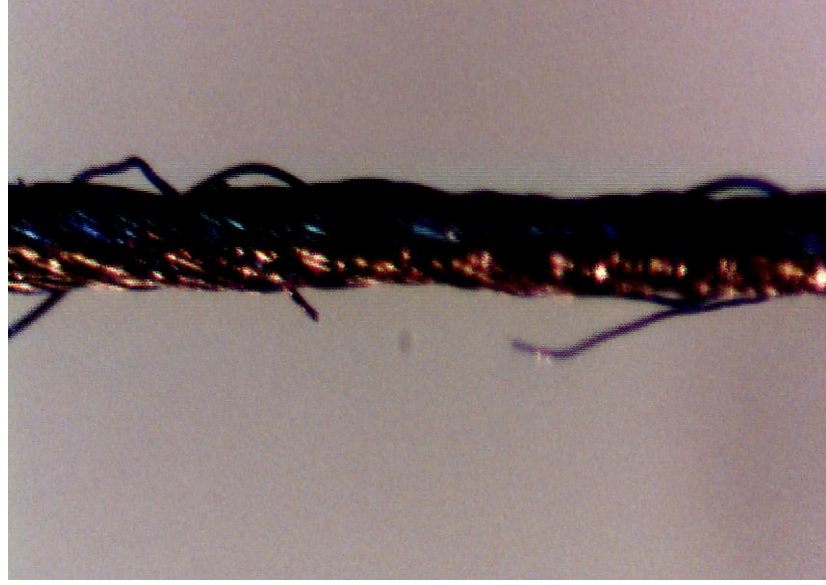
231. ISO 11092: 1993 Standard Textiles – Physiological effects – Measurements of thermal and water- vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test). International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
232. <https://www.tx.ncsu.edu/tpacc/comfort-performance/guarded-sweating-hot-plate-instrumentation.cfm>, (Erişim tarihi: şubat 2014).
233. <http://www.dpp-europe.com/-Konfor-.html?lang=tr>, (Erişim tarihi: şubat 2014).
234. TS 391 EN ISO 9237 Standardı – Tekstil – Kumaşlarda hava geirgenliğinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
235. <http://www.ntu.edu.pk/NTRC/Labs.php>, (Erişim tarihi: şubat 2014).
236. <http://merlab.metu.edu.tr/diferansiyel-taramali-kalorimetre-dsc>, (Erişim tarihi: şubat 2014).
237. BS EN ISO 11357-1:1997 – Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – General principles. British Standards Institution, London, England.
238. Fetronic Static Lab Tester Technical Manuel, ID-No.: 301 300.
239. http://iplikonline.com.tr/v1/kultur/iplik_kalite_parametreleri.php, (Erişim tarihi: şubat 2014).
240. Gintis, D., Mead, E. J., 1959. The mechanism of pilling. **Textile Research Journal**, **29** (7): 578 – 585.
241. Ukponmwan, J. O., Mukhopadhyay, A., Chatterjee, K. N., 1998. Pilling. **Textile progress**, **28** (3): 1 – 57.

EKLER**EK – 1 ÜBBÖ Kumaşlarda Kullanılmak Üzere Üretilen Kompozit İpliklerinin 45X Büyütme Oranında Yanal Görüntüleri**

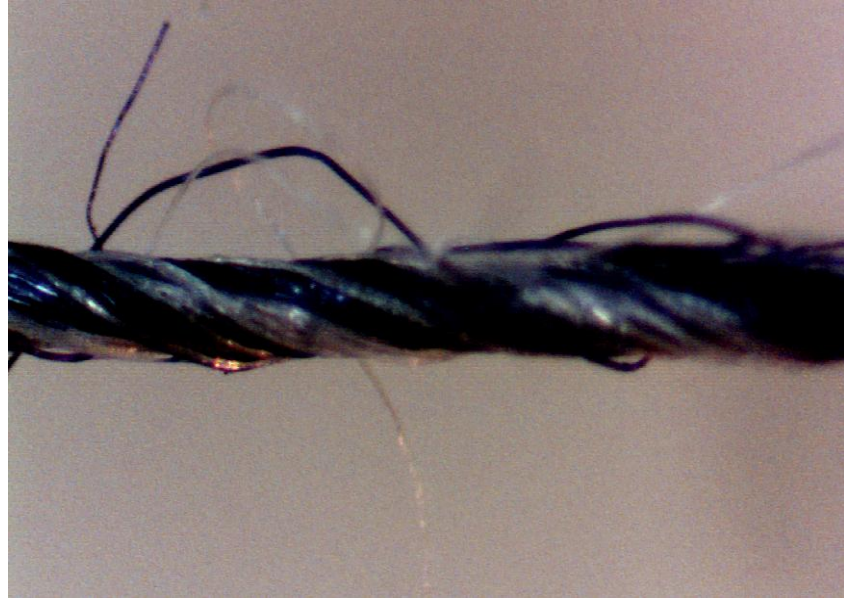
Ek Şekil 1. 45X büyütme oranında %85/14/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin yanal görüntüsü.



Ek Şekil 2. 45X büyütme oranında %69/30/1 Lenzing FR®/Nexylon FR®/karbon lifi karışım ipliğinin yanal görüntüsü.



Ek Şekil 3. 45X büyütme oranında %99/1 Kermel®/karbon lifi karışım ipliğinin yanıl görüntüsü.



Ek Şekil 4. 45X büyütme oranında %50/49/1 Kermel®/Lenzing FR®/karbon lif karışım ipliğinin yanıl görüntüsü.



Ek Şekil 5. 45X büyütme oranında %99/1 viskon/karbon lifi karışım ipliğinin yanıl görüntüsü.



Ek Şekil 6. 45X büyütme oranında %99/1 pamuk/karbon lifi karışım ipliğinin yanıl görüntüsü.

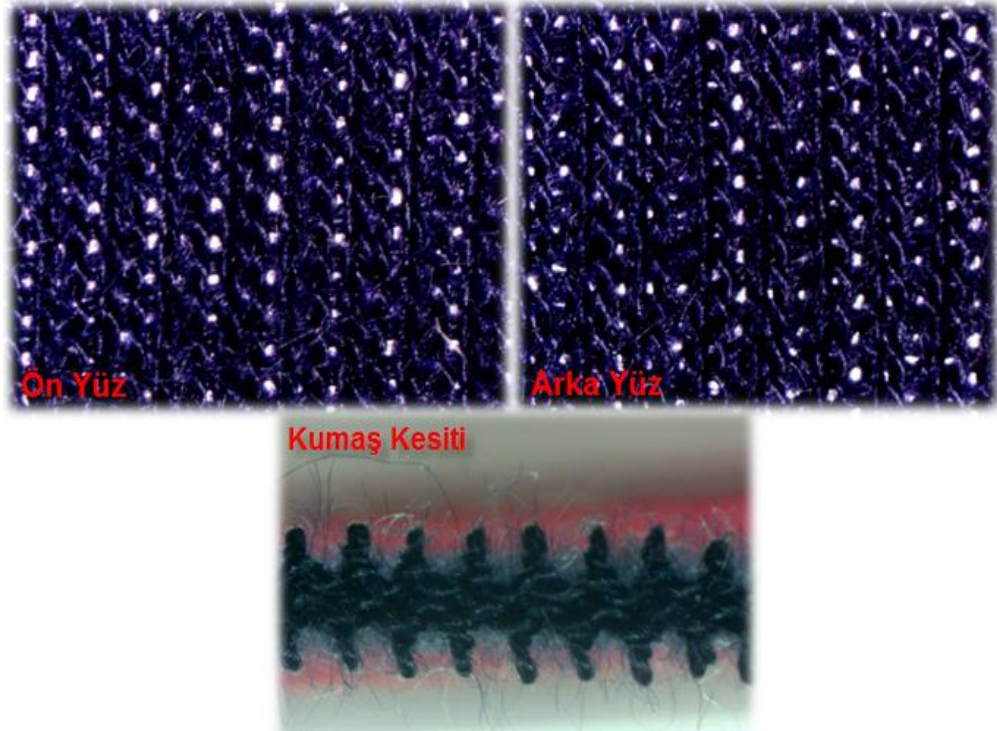


Ek Şekil 7. 45X büyütme oranında %99/1 Twaron®/karbon lifi karışım ipliğinin yanal görüntüsü.

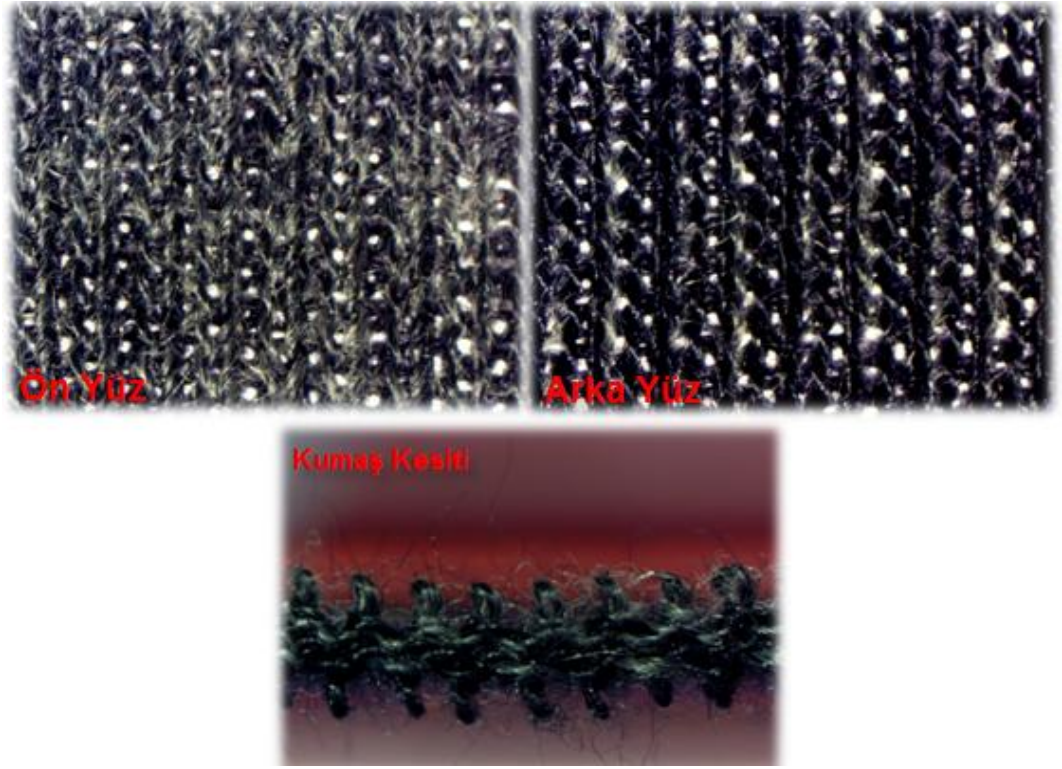
EK – 2 Üretilen ÜBBÖ Kumaşların 10X Büyütme Oranında Yüzey ve Kesit Görüntüleri



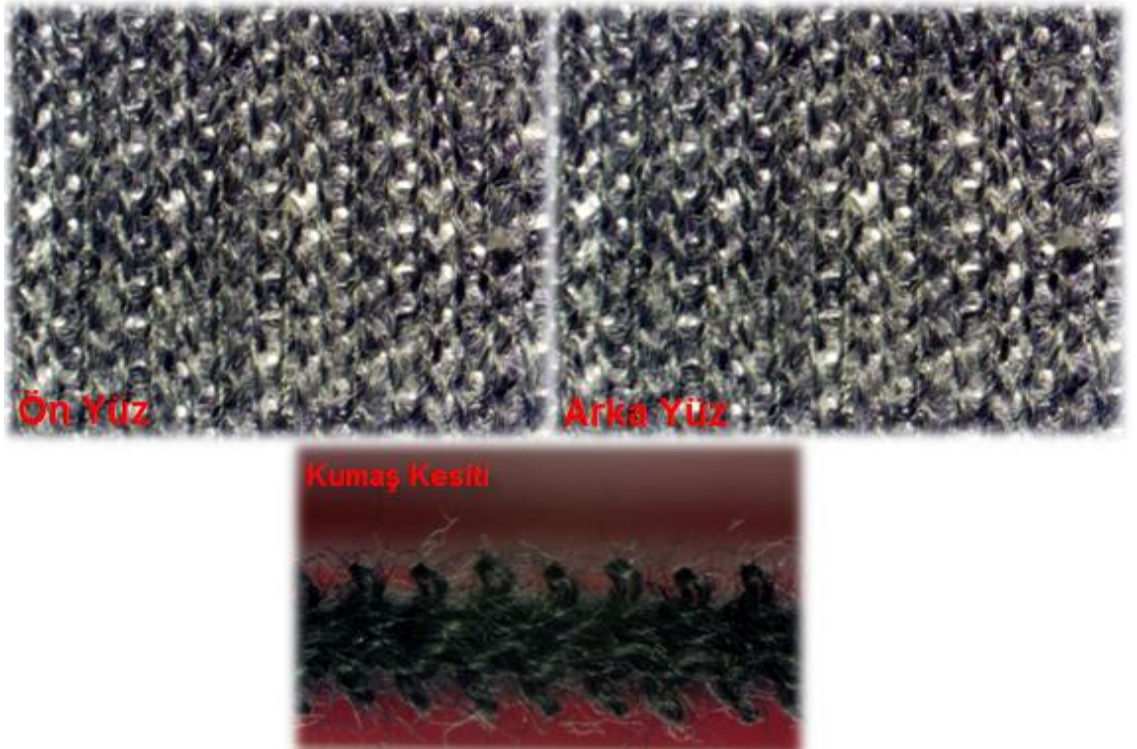
Ek Şekil 8. 10X büyütme oranında U1 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.



Ek Şekil 9. 10X büyütme oranında U2 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.



Ek Şekil 10. 10X büyütme oranında U3 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.



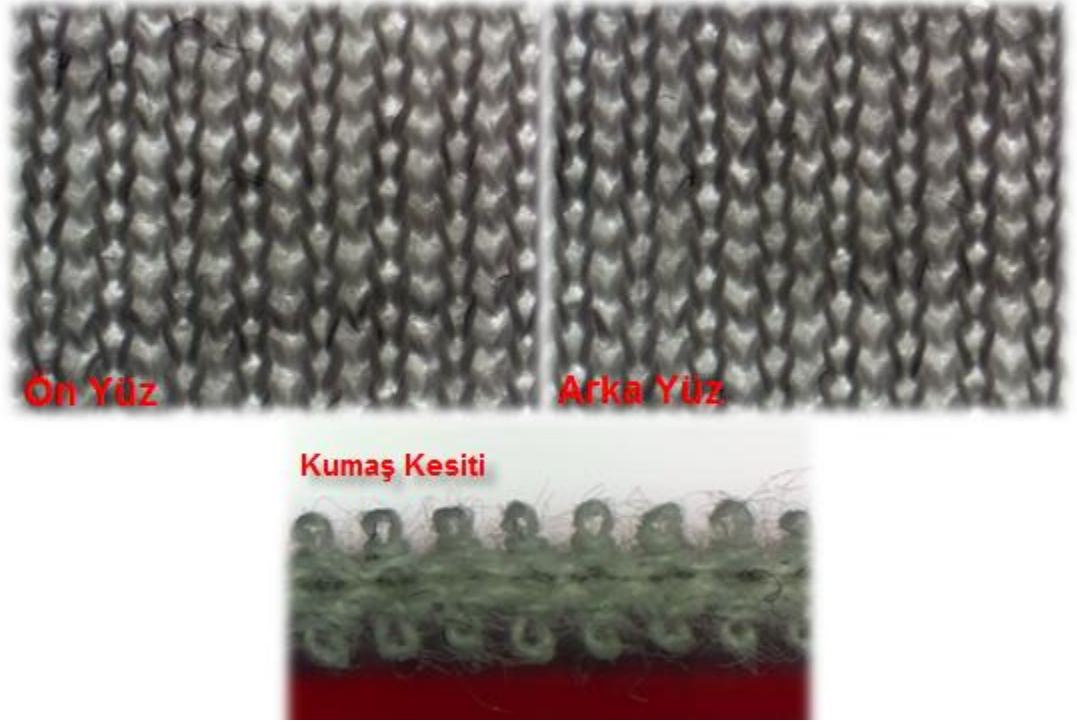
Ek Şekil 11. 10X büyütme oranında U4 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.



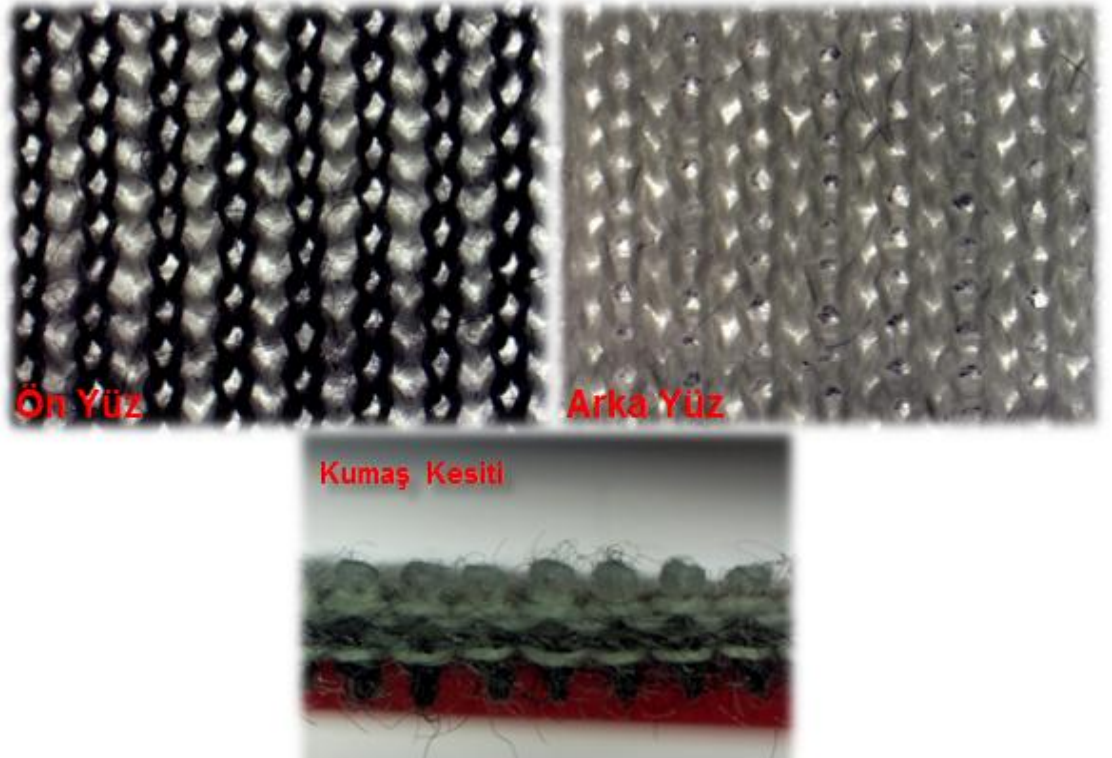
Ek Şekil 12. 10X büyütme oranında U5 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.



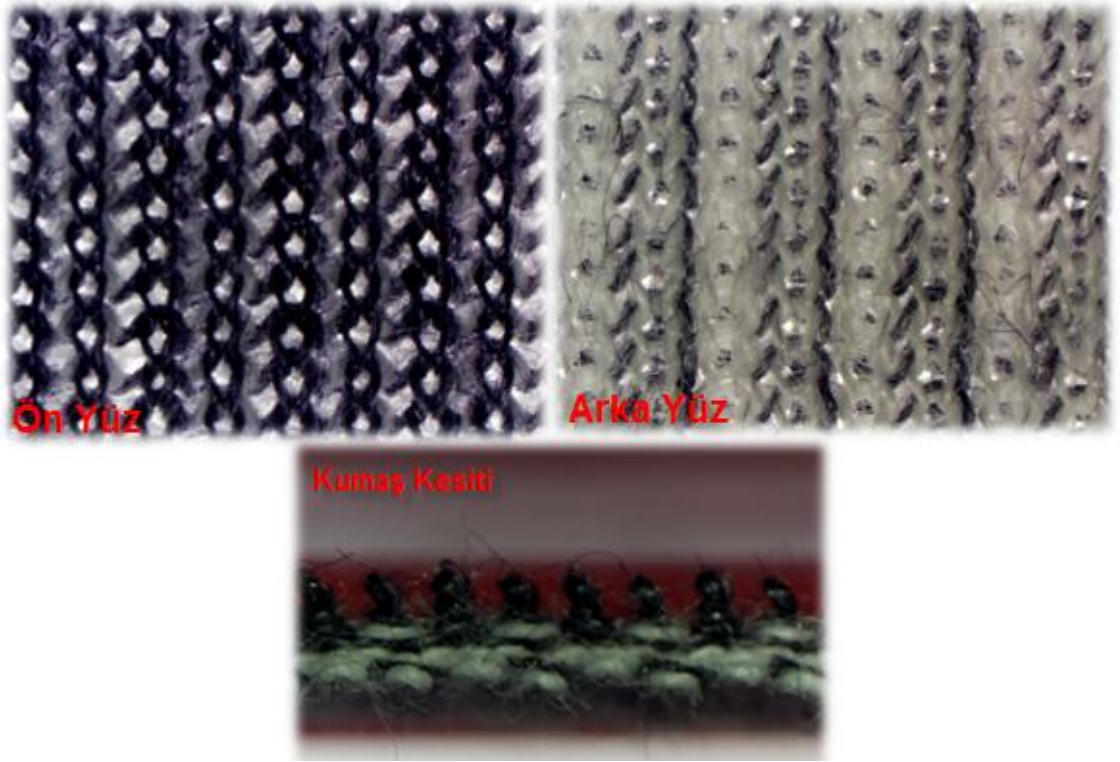
Ek Şekil 13. 10X büyütme oranında U6 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.



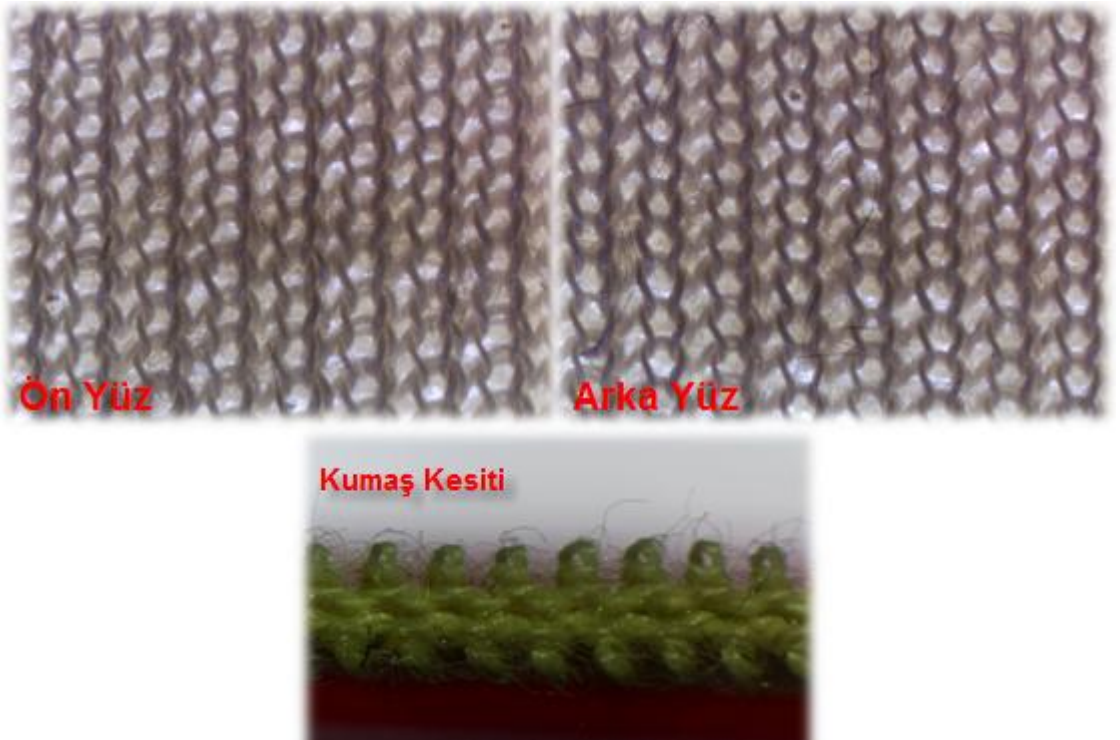
Ek Şekil 14. 10X büyütme oranında U7 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.



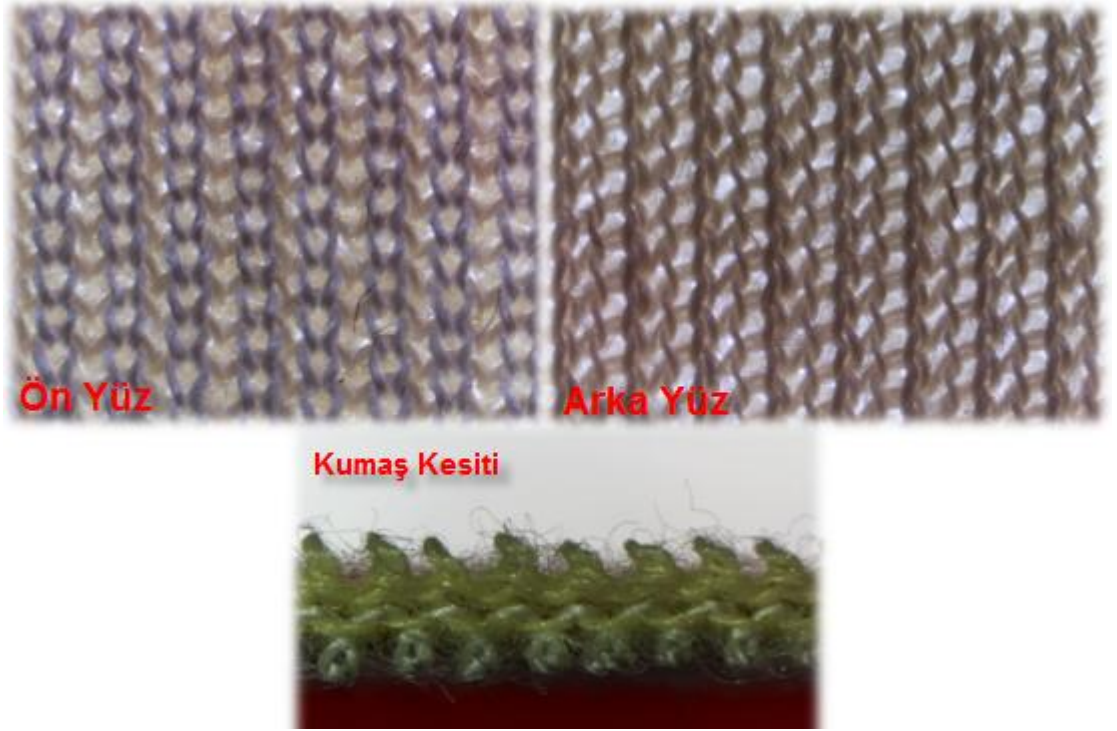
Ek Şekil 15. 10X büyütme oranında U8 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.



Ek Şekil 16. 10X büyütme oranında U9 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.

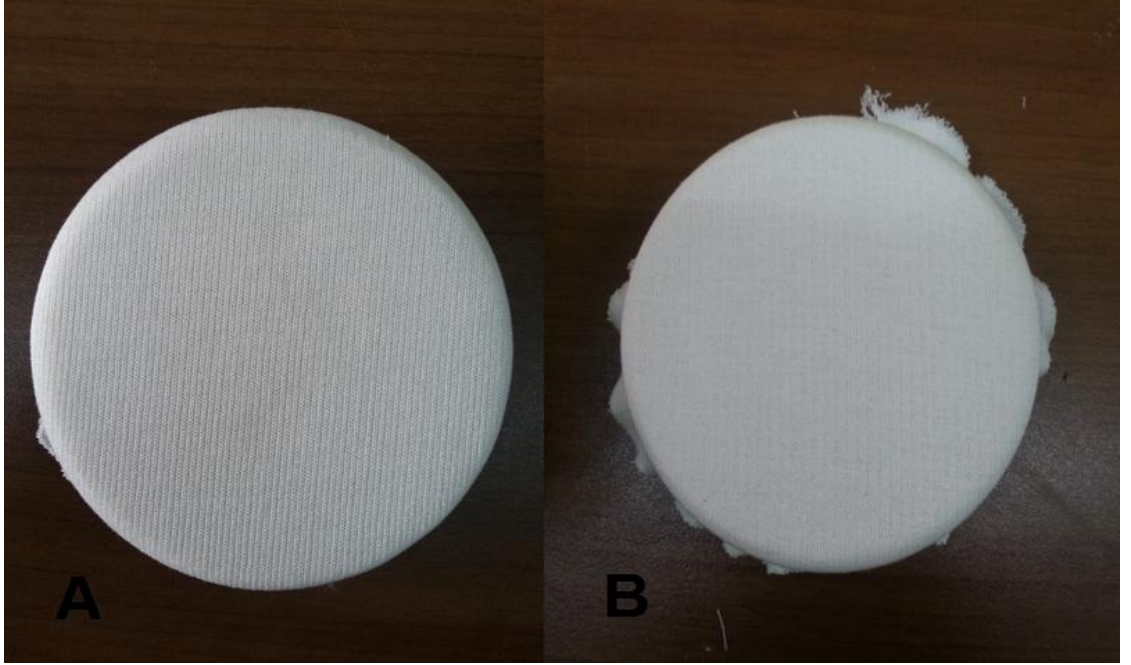


Ek Şekil 17. 10X büyütme oranında U10 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.

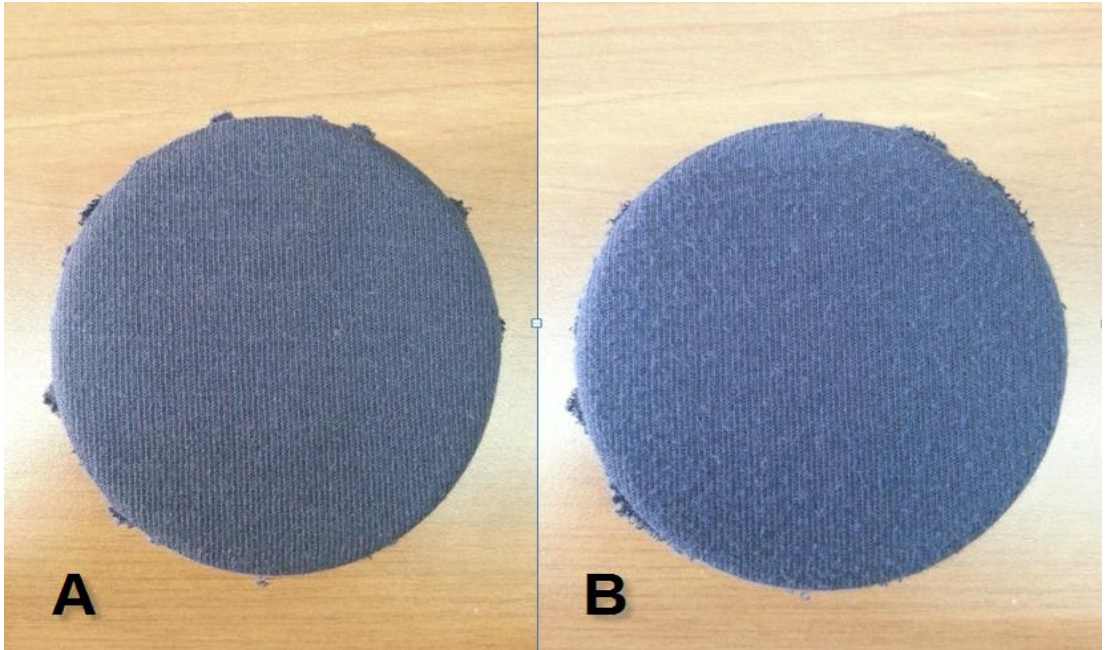


Ek Şekil 18. 10X büyütme oranında U11 kodlu kumaşın yüzey ve kesit görüntüleri.

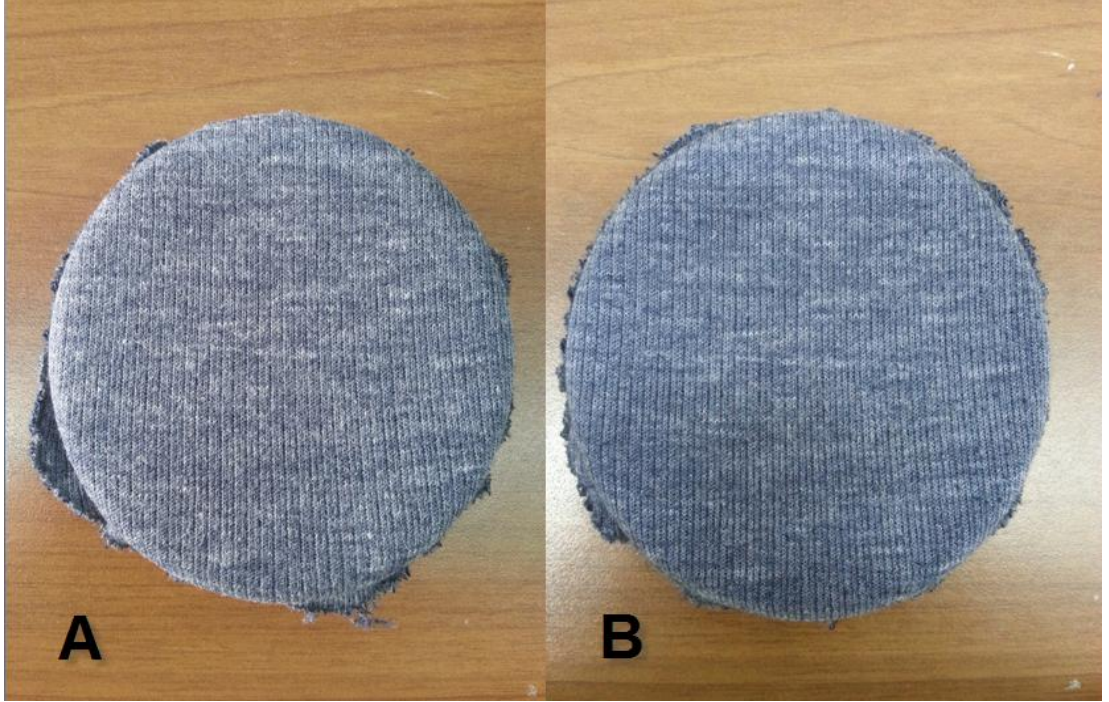
EK – 3 Üretilen ÜBBÖ Kumaşların Boncuklanma Testi Öncesi ve Sonrası Yüzey Görüntüleri



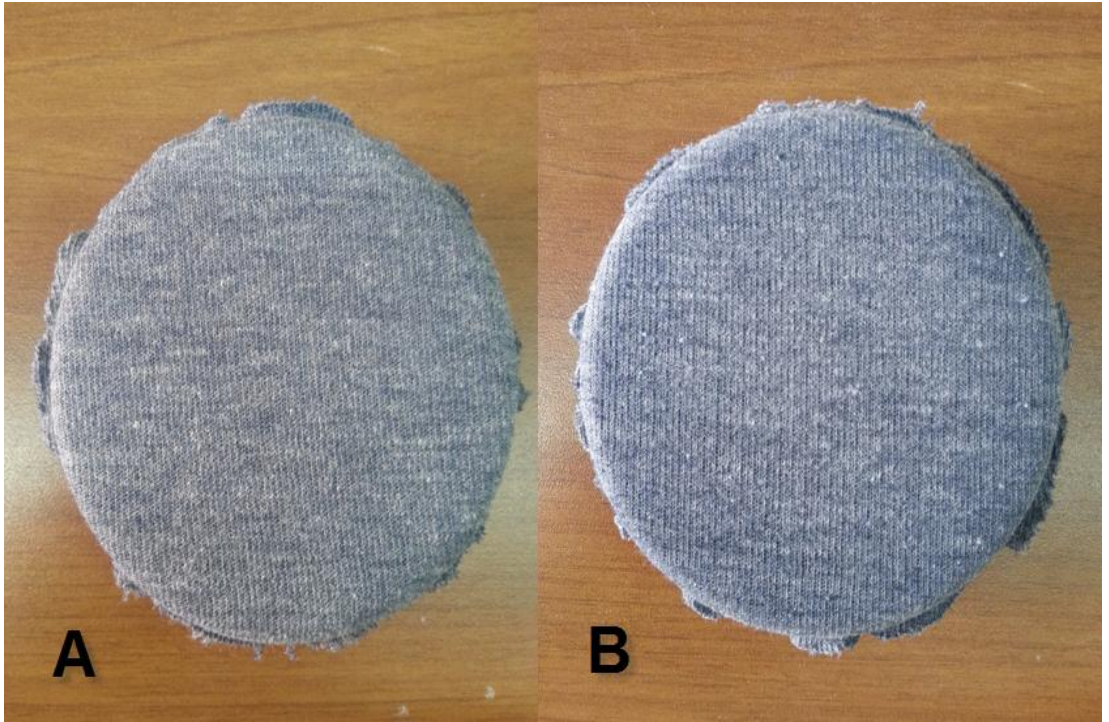
Ek Şekil 19. U1 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



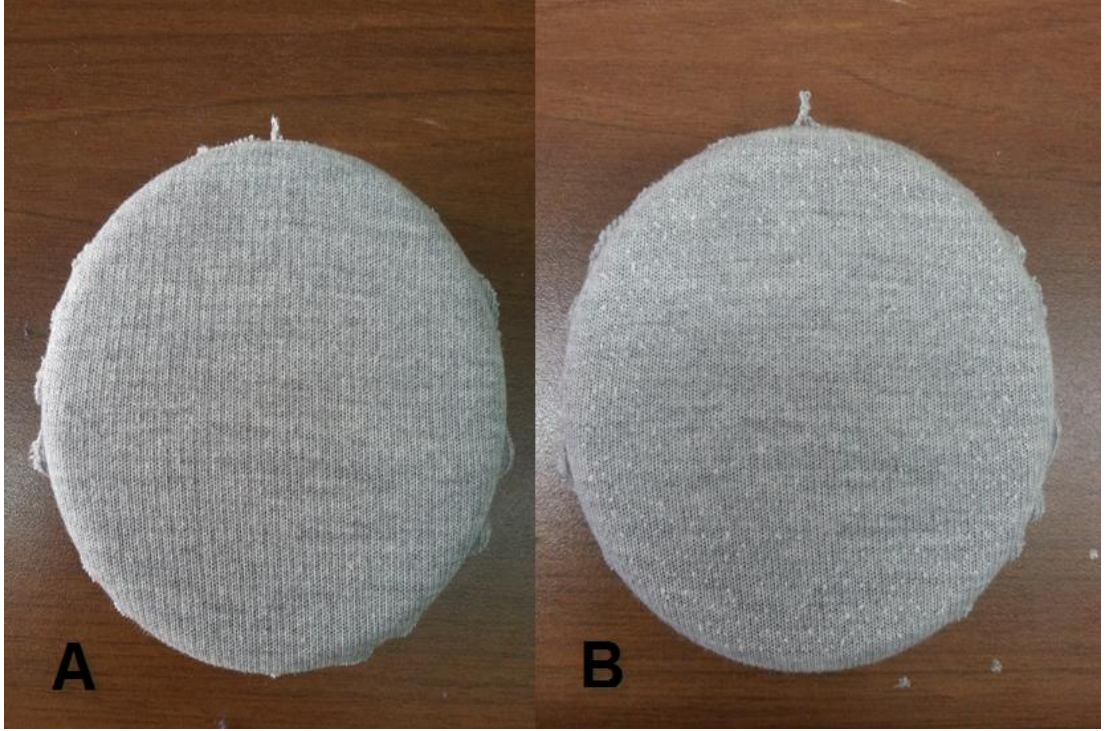
Ek Şekil 20. U2 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



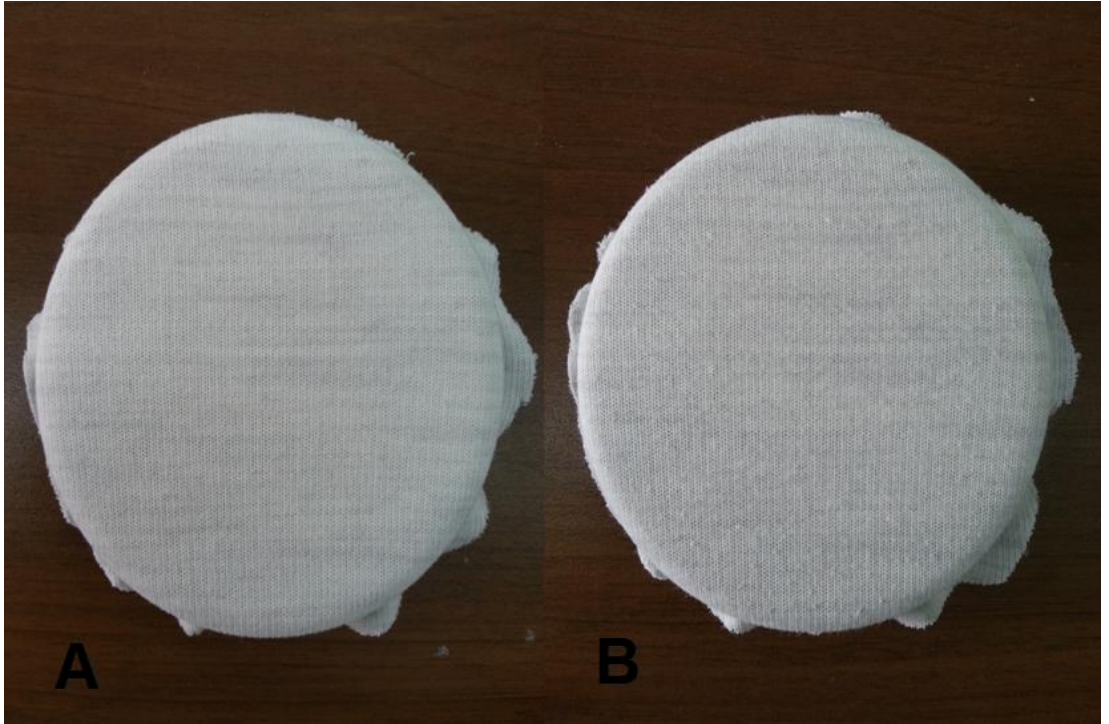
Ek Şekil 21. U3 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



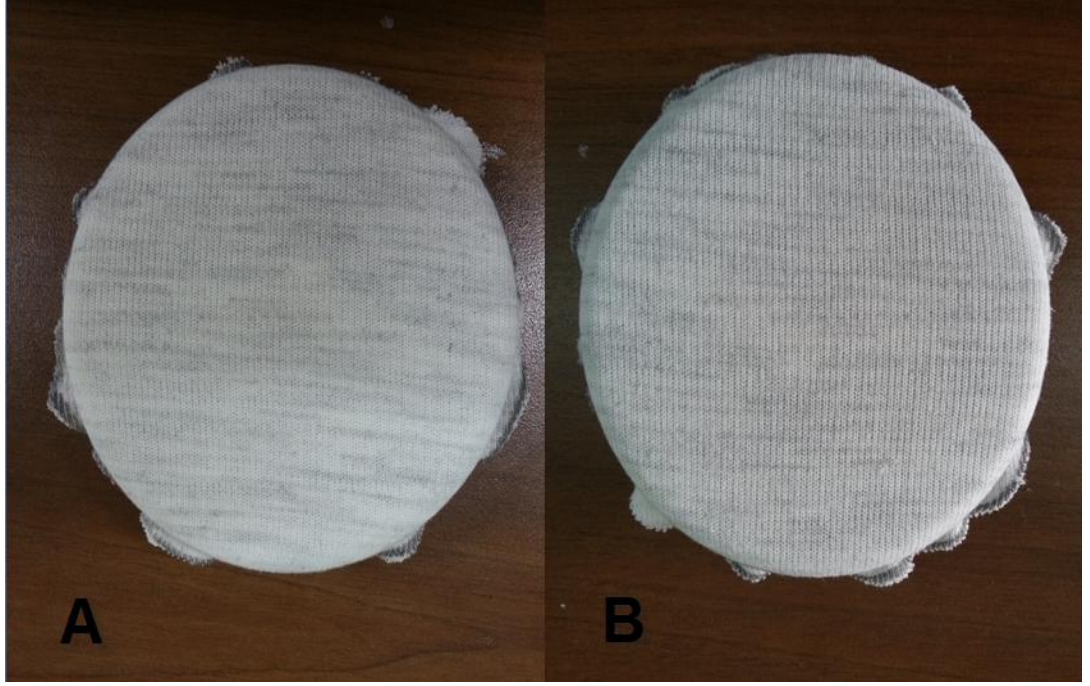
Ek Şekil 22. U4 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



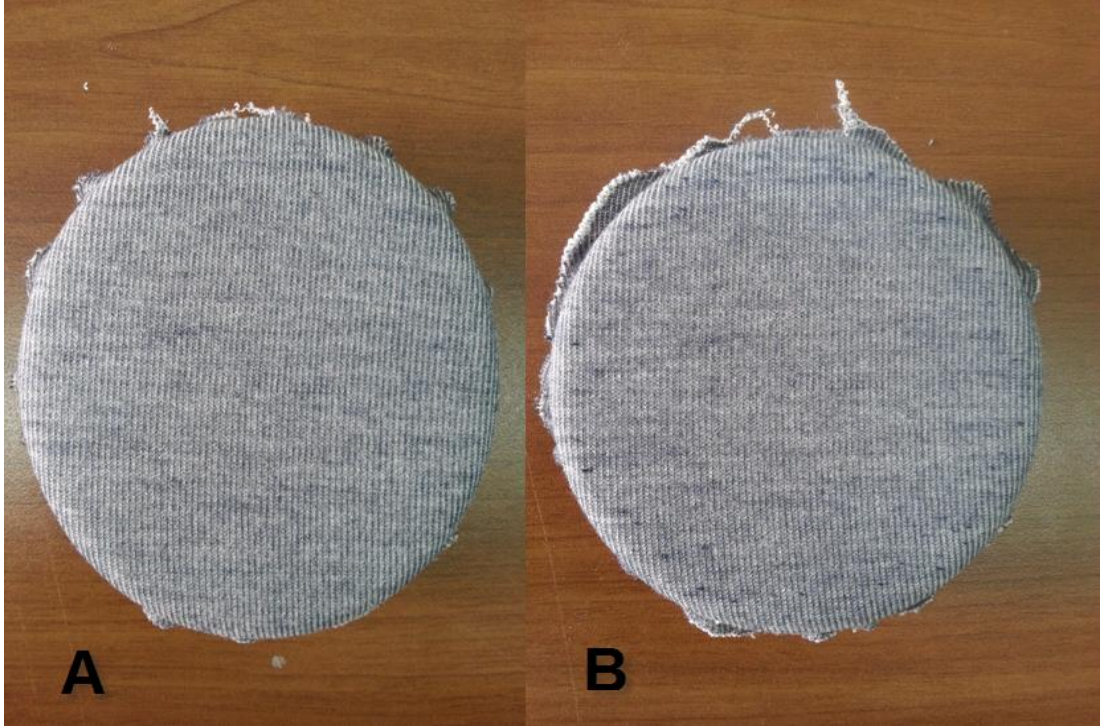
Ek Şekil 23. U5 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



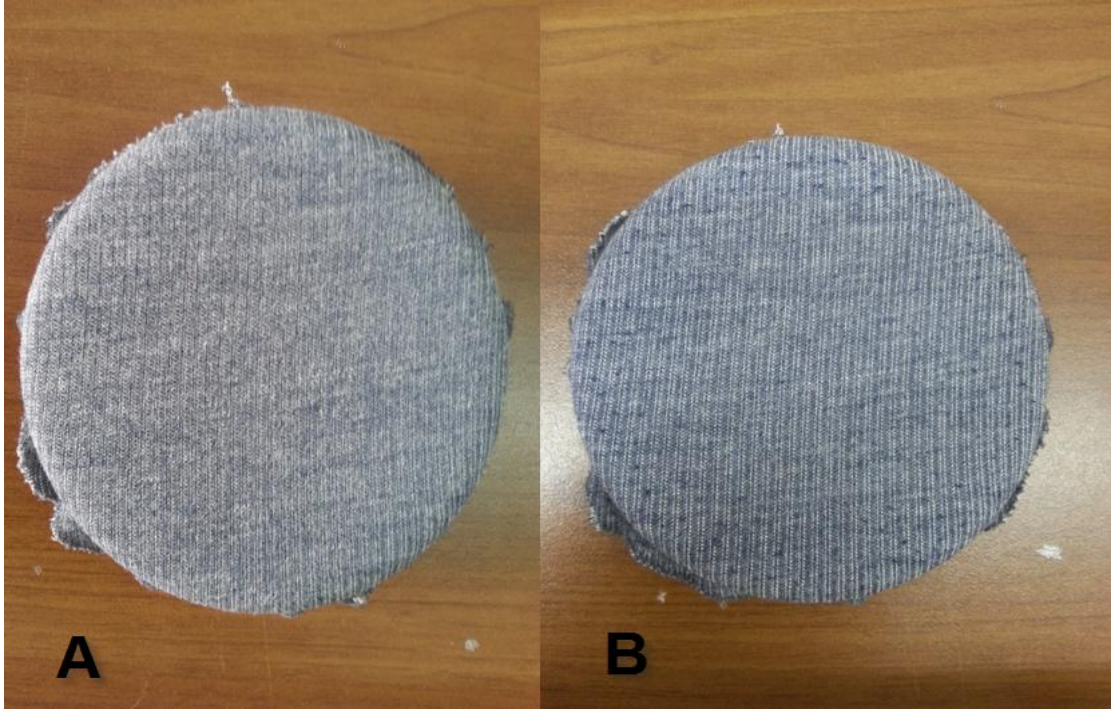
Ek Şekil 24. U6 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



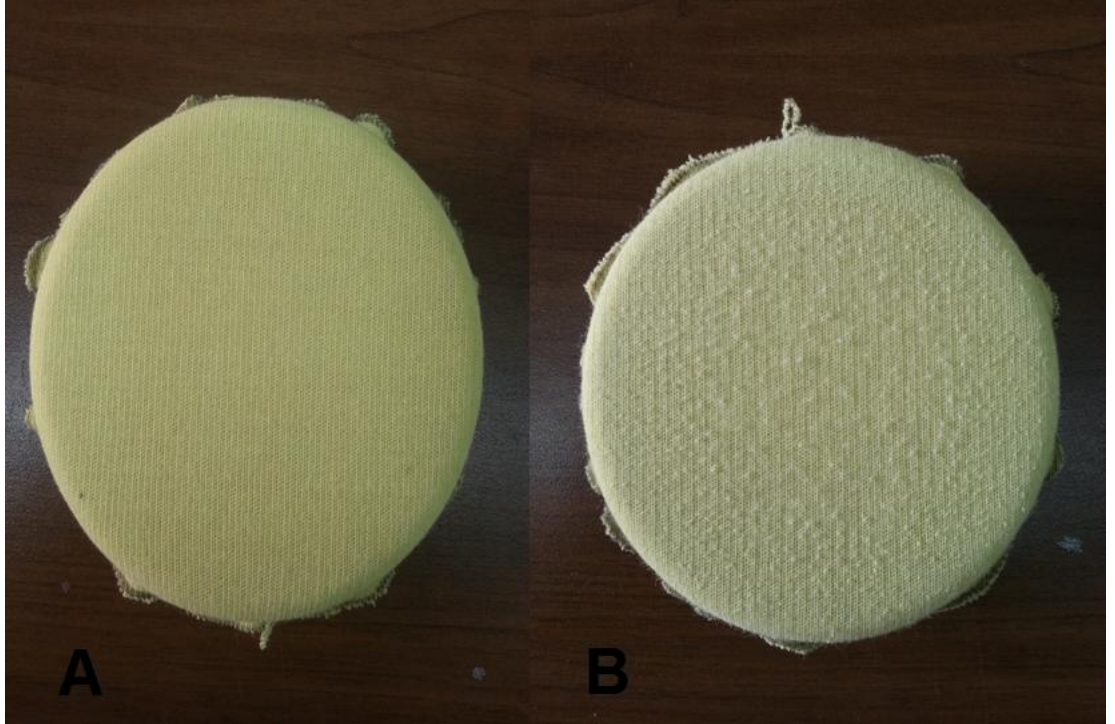
Ek Şekil 25. U7 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



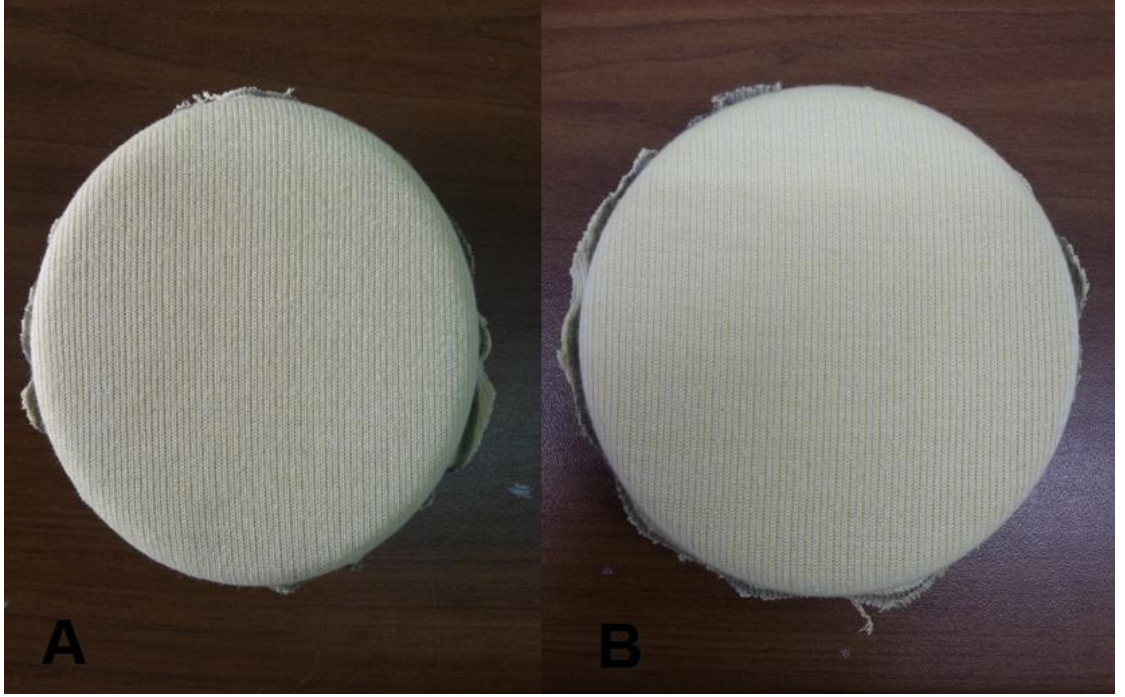
Ek Şekil 26. U8 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



Ek Şekil 27. U9 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



Ek Şekil 28. U10 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.



Ek Şekil 29. U11 kodlu kumaşın boncuklanma testi öncesi ön yüz (A) ve 7000 devir sonunda ön yüz (B) görüntüleri.

ÖZGEÇMİŞ

Çağrıalp ARSLAN 1988 yılında İzmir'nin Konak ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Bülent Altop İ.Ö.O.'nda, orta öğrenimini Hakkı Altop Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında bölüm ikincisi olarak dereceyle mezun oldu. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. Eylül 2013 tarihinde ÖYP kapsamında; Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Tekstil Bilimleri Ana Bilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aralık 2013 tarihinden itibaren Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda görev yapmaktadır.

Adres: Gesi Cumhuriyet Mah. Vatan Sok. Sevgi Apt.

No: 19 Melikgazi/KAYSERİ

Telefon: 0 539 379 71 45

E – posta: cagrialp@erciyes.edu.tr
cagrialparslan@gmail.com

