İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAKLIK AYARLI FONKSİYONEL KUMAŞLARIN TASARLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Alev KARAKAŞ

Anabilim Dalı : TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ

Programı : TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAKLIK AYARLI FONKSİYONEL KUMAŞLARIN TASARLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Alev KARAKAŞ
(503011230)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih: 27 Ocak 2005

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Emel ÖNDER
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Cevza CANDAN (İ.T.Ü)
Doç. Dr. Recep EREN (U.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Nevin GÜRSOY (İ.T.Ü)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

On dokuzuncu yüzyıldan bu yana, bilim ve teknolojinin her alanında insanoğlunun üzerinde derin etkileri olan devrimsel değişikler benzeri görülmemiş bir hızla gerçekleşmektedir. Elektronik çiplerin, bilgisayarın ve internetin icadı, insan geninin keşfi ve tamamıyla haritalanması ve daha bir çoğu tüm dünyayı değişime uğratmıştır. Son yüzyıl ayrıca binlerce yıllık bir tarihi olan dokuma kumaş ve giyim endüstrisine de inanılmaz yenilikler getirmiştir. Geleneksel olarak bir çok bilim ve mühendislik alanı ayrı ve bağımsız olmuştur. Son zamanlarda bu farklı mühendislik alanlarında ortak hareket ve çalışmalar vardır ve sonuçlar inanılmazdır. Bu sonuçların en önemlilerinde biri malzemeler ve yapılar için akıllı teknolojilerdir.

Akıllı malzemeler ya da yapılar, mekanik, termal, kimyasal, elektriksel, manyetik ya da başka bir kaynaktan olan çevresel koşulları ya da uyaranları hisseden ve bunlara reaksiyon gösteren malzemeler ya da yapılar olarak tanımlanabilir. Bir akıllı malzeme tabakası olan derimiz gibi bir elbiseye sahip olmak harika bir şey olurdu. Deri, basıncı, sıcaklığı, acıyı vb. tespit edebilen alıcılarla doludur ve beynimizle birlikte çevre uyaranlarına karşı akıllı bir şekilde çalışır. Eğer hava sıcaksa vücudumuzu soğutmak için yüksek miktarda ter üretmek gibi ısı kaybını artırıcı mekanizmaları devreye sokar veya hava soğuduğunda vücudu ısıtmak için örneğin kan dolaşımını uyararak ısı üretimini artırır. Deriyi incelemek ve daha sonra da derimize benzer bir akıllı materyal üretmek en zorlu görevlerden biridir. Bilim adamları son on yıldır hızla artan bir şekilde, ısı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşların ve giysilerin üretim süreçlerini ve özelliklerini incelemektedirler. Yakın gelecekte dinamik ısı yönetimi ve onun uygulamaları hakkında çok daha fazla bilgi sahibi olacağız. Bu çalışmada, tekstillerde ısı yönetimini iyileştirmenin yolları deneysel olarak araştırılmakta ve giysi sisteminin, ısı yönetimini iyileştirmede önemli tasarım parametreleri üzerinde durulmaktadır. Bunun için çevre ve fiziksel aktivite değişkenlerine bağlı olan sıcaklık değişimine duyarlı, vücudu koruma ve konfor sağlama fonksiyonu olan lif, kumaş ve köpükler üzerine araştırmalar yapılmış ve bir soğuk iklim giysisi tasarımı üzerinde çalışılmıştır.

Tez konumun belirlenmesi ve yürütülmesi süresince desteğini, ilgisini, yardımını ve hoşgörüsünü esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Emel ÖNDER'e, çalışmam sırasındaki yardımlarından ve deney malzemelerinin temininden ve deney yapımı hakkında verdiği bilgilerden dolayı Yrd. Doç. Dr. Nihal SARIER'e, sonsuz desteklerini esirgemeyen ve değerli bilgilerini benimle paylaşan sevgili arkadaşlarım Y. Müh. U.Kıvanç ŞAHİN'e, Y. Müh Berdan KALAV'a, Y. Müh Fatma BAYTAR'a, Y. Müh Mehmet ÖZTÜRK'e, yardımlarını esirgemeyen değerli dostum Y. Müh. Umut Naci'ye, değerli bilgilerini benimle paylaşan Y. Müh Gökhan Balık'a ve son olarak hayatım boyunca bana her zaman destek olan biricik kardeşim Ayça KARAKAŞ'a, annem Neşe KARAKAŞ'a ve babam Mustafa KARAKAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim

Aralık, 2004 Alev KARAKAŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	**vi**
TABLO LİSTESİ	**vii**
ŞEKİL LİSTESİ	**ix**
SEMBOL LİSTESİ	**xi**
ÖZET	**xiii**
SUMMARY	**xiv**
1. GİRİŞ	**1**
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. KONFOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	**6**
2.1. Tekstilde Temel Konfor Kavramı	6
2.2. İnsan-Giysi Sistemi	7
2.3. Giyim Konforu	9
2.3.1. Psikolojik konfor	12
2.3.2. Hareket konforu	14
2.3.2.1. Esneklik	14
2.3.2.2. Ağırlık	16
2.3.2.3. Basınç ve sıkıştırma	17
2.3.3. Fizyolojik konfor	18
2.3.3.1. Termofizyolojik konfor	18
2.3.3.2. Nörofizyolojik (duyusal) konfor	19
3. TERMOFİZYOLOJİ VE TERMAL KONFOR	**23**
3.1. Termofizyoloji	23
3.1.1. Normal vücut sıcaklıkları	23
3.1.2. Isı üretimi	25
3.1.3. Isı kaybı	25
3.1.3.1. Deri yüzeyinden ısı kaybı	27
3.1.3.2. Solunumle ısı kaybı	31
3.1.4. Vücut sıcaklığını düzenleyen mekanizmalar	31
3.1.4.1. Vücut çok sıcak olduğunda sıcaklık azaltan mekanizmalar	32
3.1.4.2. Vücut çok soğuk olduğunda sıcaklık artıran mekanizmalar	33
3.2. Termal Konfor	34
3.2.1. Tekstillerin ısı transfer mekanizması	36
3.2.1.1. Kıyafetsiz bir bedenden ısı transferi	40
3.2.1.2. Kıyafetli bir bedenden ısı transferi	42
3.2.2. Termal yalıtım	43
3.2.2.1. Termal yalıtımda kullanılan birimler	45
3.2.2.2. Tekstillerde termal yalıtım ölçüm metotları	47

3.2.2.3. Tekstil malzemelerinin termal özellikleri ve etki eden faktörler 52
3.2.3. Su ve buhar geçişinin termal konfora etkisi 54
3.2.3.1. Su buharı geçirgenliği 54
3.2.3.2. Suyun kumaş içindeki davranışı 57
3.2.3.3. Suiticiliği 59
3.2.3.4. Su geçirmezlik 60
3.2.4. Hava geçirgenliğinin termal konfora etkisi 62
3.2.5. Rüzgar etkisi 64

4. DİNAMİK ISI YONETİMİ 67
4.1. Tekstiller İçin Akıllı Teknolojilere Genel Bakış 67
4.1.1. Akıllı tekstillerin gelişimi 67
4.2. Isı Depolayıcı Malzemeler 70
4.2.1. Faz değiştiren malzemelerle dinamik ısı yönetimi olanakları 70
4.3. Isı Depolayan ve Sıcaklık Ayarlayan Tekstillerin ve Giysilerin Üretimi 73
4.3.1. Faz değişim malzemeleriyle ya da plastik kristallerle doldurulmuş ya da doyurulmuş lifler 73
4.3.1.1. Hidratlı inorganik tuzlarla doldurulmuş ya da doyurulmuş lifler 73
4.3.1.2. PEG ile doldurulmuş ya da doyurulmuş lifler 73
4.3.1.3. Polihidrik alkol ile doldurulmuş ya da doyurulmuş lifler 74
4.3.2. Kaplamalı kumaşlar 74
4.3.2.1. PEG ile kaplı kumaşlar 74
4.3.2.2. Mikrokapsüller içeren bir bağlayıcı ile kaplı kumaşlar 74
4.3.3. Lif eğirme 75
4.3.3.1. Kompozit lif eğirme 75
4.3.3.2. Bir karışımla lif eğirme 75
4.3.3.3. Mikrokapsüllü lif eğirme 76
4.4. Isı Depolayıcı ve Isı Ayarlı Giysiler 76
4.4.1. Su dolaşımlı giysiler 76
4.4.2. Giysiye bağlı FDM keseler 76
4.4.3. Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaş giysiler 77
4.5. Isı Depolayıcı ve Isı Ayarlı Tekstillerin Başlıca Uygulama Alanları 77
4.5.1. Günlük kullanım 77
4.5.2. Profesyonel giyim 77
4.5.3. İç dekorasyon, yatak örtüleri ve uyku tulumları için dokuma kumaşlar 77
4.5.4. Ayakkabı kaplaması 78
4.5.5. Tıbbi kullanım 78
4.5.6. Yapı materyalleri 78
4.5.7. Diğer kullanımlar 78
4.5.8. Başarı ölçütleri 78

5. DENEYSEL ÇALIŞMA 81
5.1. Kullanılan Cihazlar
5.1.1. Baskı makinası 81
5.1.2. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı 81
5.1.3. Etüv 81
5.1.4. Bilgisayar destekli sıcaklık ölçüm düzeneği 82

5.1.5. Kalorimetre kabı 82
5.1.6. Su banyosu 82
5.1.7. Tartı 82
5.1.8. Desikatör 83
5.1.9. Diğer malzemeler 83
5.2. Kullanılan Malzemeler 83
5.2.1. Seçilen FDM'lerin özellikleri 83
5.2.1.1. İnorganik hidrat tuzları 83
5.2.1.2. Polialkoller 84
5.2.2. Kaplama malzemesinin özellikleri 85
5.2.2.1. Kaplama maddesi 85
5.2.2.2. Fikse maddesi 85
5.2.3. Tekstil malzemelerinin özellikleri 85
5.3. Uygulanan Deneyler ve Ölçüm Metotları 86
5.3.1. FDM'lerin özelliklerinin tespiti 86
5.3.2. Liflerin FDM'li çözeltilerle muamele edilmesi 87
5.3.3. Kumaşların kaplanması 90
5.3.3.1. FDM'li ve FDM'siz kaplama reçetesi 91
5.3.4. Malzemelerin özgül ısı değerlerinin ölçülmesi 92
5.3.5. Kalorimetre kabının su cinsinden değerinin bulunması 95

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 99
6.1. FDM'lerin Ölçülen Termal Özellikleri İle İlgili Sonuçlar 99
6.1.1. Su ve FDM'nin ısınma ve soğuma davranışının karşılaştırılması 99
6.1.1.1. $Na_2SO_4.10H_2O$ ile ilgili sonuçlar 101
6.1.1.2. $Na_2CO_3.10H_2O$ ile ilgili sonuçlar 103
6.1.1.3. PEG 600 ile ilgili sonuçlar 105
6.1.1.4. PEG 1000 ile ilgili sonuçlar 108
6.1.1.5. PEG 1500 ile ilgili sonuçlar 109
6.2. Kaplanmış Kumaşların Ölçülen Termal Özellikleri İle İlgili Sonuçlar 111
6.3. FDM İle Muamele Edilmiş PET Liflerin Ölçülen Termal Özellikleri İle İlgili Sonuçlar 115
6.4. Sonuçların Tartışılması 116

KAYNAKLAR 119

ÖZGEÇMİŞ 121

KISALTMALAR

COT	: Pamuk
DMP	: 2,2 – Dimetil-1,3-propandiol
DSC	: Ayrımsal tarayıcı kalorimetri
FDM	: Faz değiştiren malzemeler
NASA	: Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
PA	: Poliamid
PEG	: Polietilenglikol
PET	: Polyester
PTMG	: Politetrametilenglikol
PVC	: Polyvinilklorür

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1.	Farklı giysilerin esneklik özellikleri.....	15
Tablo 2.2.	Bir kişinin ortalama olarak giydiği çeşitli giysilerin yaklaşık ağırlıkları	17
Tablo 3.1.	Değişik aktiviteler sırasındaki vücudun metabolik ısı üretimi.....	25
Tablo 3.2.	Vücut ısı üretimi ve ısı kaybı	26
Tablo 3.3.	Sıcaklık düzenleyici mekanizmalar.....	32
Tablo 3.4.	İnsan vücudu üzerinde sıcaklık etkisi.....	36
Tablo 3.5.	0,5 g/cm^3 yoğunlukta paketlenmiş lif kitlesinin ısıl iletkenliği	43
Tablo 3.6.	Farklı malzemelerin birbirlerine göre termal iletkenlik oranları.....	44
Tablo 3.7.	Giyim ve mefruşat kumaşlarının tipik termal direnç değerleri.....	46
Tablo 3.8.	Soğuk ortamlarda eşdeğer rüzgar üşütme sıcaklıkları.....	66
Tablo 4.1.	Tekstillerde kullanılabilen bazı FDMler.....	72
Tablo 5.1.	Kullanılan hidrat tuzlarının özellikleri.....	84
Tablo 5.2.	Kullanılan polialkol çeşitlerinin özellikleri.....	84
Tablo 5.3.	Kumaş özellikleri.....	85
Tablo 5.4.	FDM özelliklerinin tespitinde kullanılan madde miktarları.....	87
Tablo 5.5.	Numunelerin etüv öncesi ve sonrası ağırlıkları ve % nem değerleri.....	88
Tablo 5.6.	Numunelerin hidrat tuzu çözeltileriyle muamele öncesi ve sonrası ağırlıkları.....	88
Tablo 5.7.	Sodyum sülfat bileşikli hidrat tuzu çözeltileriyle muamele edilmiş numunelerin yıkama öncesi ve sonrası ağırlıkları.....	89
Tablo 5.8.	Sodyum karbonat bileşikli hidrat tuzu çözeltileriyle muamele edilmiş numunelerin yıkama öncesi ve sonrası ağırlıkları.....	90
Tablo 5.9.	Kumaş numunelerinin kaplama öncesi ve sonrası ağırlıkları.....	92
Tablo 5.10.	Kaplama reçeteleri.....	92
Tablo 5.11.	Deney gereçlerin ağırlıkları ve özellikleri.....	95
Tablo 5.12.	1. kalorimetre kabındaki suyun ölçülen sıcaklık değerleri.....	97
Tablo 5.13.	2. kalorimetre kabındaki suyun ölçülen sıcaklık değerleri.....	97
Tablo 5.14.	1. kalorimetre kabının su cinsinden ölçülen ağırlığı.....	98
Tablo 5.15.	2. kalorimetre kabının su cinsinden ölçülen ağırlığı.....	98

Tablo 6.1. $Na_2SO_4.10H_2O$ ısınma deneyleri sonuçları..... 102
Tablo 6.2. $Na_2SO_4.10H_2O$ soğuma deneyleri sonuçları..... 103
Tablo 6.3. $Na_2CO_3.10H_2O$ ısınma deneyleri sonuçları..... 105
Tablo 6.4. $Na_2CO_3.10H_2O$ soğuma deneyleri sonuçları..... 105
Tablo 6.5. PEG 600 ısınma deneyleri sonuçları..... 107
Tablo 6.6. PEG 600 soğuma deneyleri sonuçları..... 107
Tablo 6.7. PEG 1000 ısınma deneyleri sonuçları..... 109
Tablo 6.8. PEG 1000 soğuma deneyleri sonuçları..... 109
Tablo 6.9. PEG 1500 ısınma deneyleri sonuçları..... 111
Tablo 6.10. PEG 1500 soğuma deneyleri sonuçları..... 111
Tablo 6.11. %100 PA kumaşın deney sonuçları..... 113
Tablo 6.12. %50 PET- %50 CO kumaşın deney sonuçları..... 114
Tablo 6.13. $Na_2SO_4.10H_2O$ ile muamele edilmiş PET liflerinin deney sonuçları..... 116

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	: İnsan bedeni-giysi-çevre sistemi	7
Şekil 2.2	: Beynin konfor kararının oluşum süreci	8
Şekil 2.3	: Beden üzerinde önemli esneme noktaları	15
Şekil 2.4	: Duyu sinirlerinin deri yüzeyi üzerinde yer alan ve hareket eden kumaşa tepki göstermesi	19
Şekil 2.5	: Kumaşın yüklenmesi ve yükün indüklenmesi	22
Şekil 3.1	: Vücuttan ısı kayıp mekanizmaları	27
Şekil 3.2	: Hipotalamus sıcaklığının vücuttan buharlaşma ile ısı kaybı ve kas aktivitesi ve titreme ile ısı oluşumu üzerine etkisi	33
Şekil 3.3	: (a) Giysinin içinden gerçekleşen ısı transfer mekanizması, (b) Bir kumaşın içindeki ısı transfer modları	40
Şekil 3.4	: 25° C deki bir çevrede kıyafetsiz bir bedenden ısı dağılımı	41
Şekil 3.5	: Deri sıcaklığı dış sıcaklıktan büyük olduğu zaman kumaştaki ısı akışı	42
Şekil 3.6	: Togmetre, çift plaka metodu	49
Şekil 3.7	: Togmetre, tek plaka metodu	50
Şekil 3.8	: Shirley togmetresi	51
Şekil 3.9	: Su buharı geçişine izin veren bir kumaşın su buharı difüzyonu	56
Şekil 3.10	: Ter bezlerinin vücuttaki yoğunlukları	57
Şekil 3.11	: Kumaşın içinden terleme sonucu sıvı geçişi	57
Şekil 3.12	: Suyun sıvı ve buhar halinde kumaş içerisine yerleşimi	58
Şekil 3.13	: Su iten ve su itici olmayan kumaşlar	59
Şekil 3.14	: Geleneksel ve nefes alabilen su geçirmez kumaşlar	61
Şekil 3.15	: GORE-TEX® logosu ile üretilen suya dayanıklı, yalıtkan ve su buharı geçirgen ayakkabı dizaynı	62
Şekil 3.16	: Rüzgarın üşütme etkisi	64
Şekil 3.17	: Vücudun mikroklimasını korumak amacıyla tasarlanan WİNDSTOPPER® kumaşının işlev mekanizması	65
Şekil 5.1	: Ölçüm düzeneği	82
Şekil 5.2	: %100 PA kumaşa ait 5 nolu deney numunesinin kalorimetre kabı-bilgisayar sisteminden elde edilen sıcaklık denge grafiği	94
Şekil 5.3	: $Na_2CO_3.10H_2O$ ile muamele edilmiş 1. deney numunesinin yıkanmamış 1. parçasına ait kalorimetre kabı-bilgisayar sisteminden elde edilen sıcaklık denge grafiği	94
Şekil 5.4	: Kalorimetre Kabının Su Cinsinden Değerinin Bulunması için yapılan deneyin ilk 5 dakikalık ölçümüne ait bilgisayar sisteminden elde edilen sıcaklık denge grafiği	96

Şekil 5.5 : Kalorimetre Kabının Su Cinsinden Değerinin Bulunması için yapılan deneyin ikinci 5 dakikalık ölçümüne ait bilgisayar sisteminden elde edilen sıcaklık denge grafiği 96
Şekil 6.1 : $Na_2SO_4.10H_2O$ ısınma grafiği 101
Şekil 6.2 : $Na_2SO_4.10H_2O$ soğuma grafiği 102
Şekil 6.3 : $Na_2CO_3.10H_2O$ ısınma grafiği 104
Şekil 6.4 : $Na_2CO_3.10H_2O$ soğuma grafiği 104
Şekil 6.5 : PEG 600 ısınma grafiği 106
Şekil 6.6 : PEG 600 soğuma grafiği 106
Şekil 6.7 : PEG 1000 ısınma grafiği 108
Şekil 6.8 : PEG 1000 soğuma grafiği 108
Şekil 6.9 : PEG 1500 ısınma grafiği 110
Şekil 6.10 : PEG 1500 soğuma grafiği 110

SEMBOL LİSTESİ

A	: Deney malzemesi alanı
A_{cl}	: Kıyafet yüzey alanı
A_d	:İnsan yüzey alanı
C	: Taşınım ısı kaybı
c_{pa}	: Havanın özgül ısısı
C_{res}	: Duyulur ısı kaybı
d	: Malzeme kalınlığı
E	: Su buharı geçirgenliği
E_{res}	: Gizli ısı kaybı
f_{cl}	: Giysi alan çarpanı
h_c	: Taşınım katsayısı
h_e	: Buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı
h_r	: Doğrusal ışınım ısı geçiş katsayısı
H	: Vücuttan gerçekleşen toplam ısı kaybı
H_c	:İletim ile olan ısı transferi
H_e	: Buhar yolu ile olan ısı transferi
H_r	: Radyasyon ile olan ısı transferi
H_s	: Hissedilir ısı transfer miktarı
I	: Termal yalıtım
I_a	: Havanın termal yalıtımı
I_c	: Giysinin termal yalıtımı
K	: Bir malzemenin ısıl (termal) iletkenliği
m_{res}	: Solunan hava debisi
P	: Test plakasından güç kaybı
P_a	: Çevre havanın su buharı basıncı
$P_{sk,s}$	: Deri üzerindeki su buharı basıncı
ΔP	:İki yüzey arasındaki kısmi su buharı basıncı içindeki fark
Q	: Birim zamanda birim yüzeyden ısı geçişi
R	:Işınım ısı kaybı
R	: Termal direnç
$R_{e,cl}$	: Giysi tabakasının buharlaşma ile ısı geçişine direnci
R_{hava}	: Havanın termal direnci
R_{numune}	: Numunenin termal direnci

$R_{standart}$	: Standart malzemenin termal direnci
T	: Sıcaklık
T_a	: Hava sıcaklığı
T_c	: Elbisenin yüzey sıcaklığı
T_o	: Etkin sıcaklık
T_r	: Oda sıcaklığı
T_s	: Deri sıcaklığı
ΔT	: Tekstil tabakasının iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı
V	: Voltaj
V_r	: Rüzgar hızı
w	: Deri ıslaklığı
W_a	: Solunan havanın özgül nemi
W_{ex}	: Dışarı atılan havanın özgül nemi

ÖZET

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın genel kapsamı ve amacı açıklanmaktadır.

Bölüm 2'de temel konfor kavramı, insan- giysi sistemi ve bu sistemde giyim konforunun nasıl oluştuğu, giyim konforunun tanımı ve sınıflandırılması ve bu sınıflandırma kapsamında psikolojik konfor, hareket konforu ve fizyolojik konfor hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Bölüm 3'te tez çalışmasının da ana konusu olan termofizyolojik konfor detaylı bir şekilde araştırılmış olup termofizyoloji ve termal konfor şeklinde iki ana başlık altında ele alınmıştır. Termofizyoloji başlığı altında vücudun ısı regülasyon sistemi incelenmiştir. Termal konfor başlığı altında ise tekstillerde termal konforun ne anlama geldiği, nasıl elde edildiği ve hangi tekstil özelliklerini kapsadığı ve bu özelliklerin termal konfora etkileri kapsamlı şekiller ve tablolarla ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Bölüm 4'te öncelikle akıllı tekstiller hakkında genel bilgi verilmiş ve dinamik ısı yönetimi olanağı sağlayan yüksek ısı depolama ve salıverme yeteneğine sahip akıllı tekstil malzemelerinden bahsedilmiş ve bu malzemelerin tekstillere uygulanma şekilleri ve dinamik ısı yönetimi yapabilen tekstillerin üretimi ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 5'te ise tekstillerde ısı yönetimini iyileştirmenin yolları deneysel olarak araştırılmakta, giysi sisteminin ısı yönetimini iyileştirmede önemli tasarım parametreleri üzerinde çalışma yapılmaktadır.

Çalışmanın sonuçlarının verildiği ve bunların tartışıldığı Bölüm 6'da ise faz değiştiren malzemelerin kumaş üzerine kaplanması gibi olanaklarla kumaşların mevcut ısı kapasitelerinin iyileşebileceği gösterilmiştir.

DESIGNING OF FABRICS WITH TEMPERATURE REGULATION FUNCTION

SUMMARY

This study is composed of six main parts.

In the first part, the general content and the aim of the study is explained. In Section two, we give detailed information about the concept of comfort, human – clothing system and existence of clothing comfort. In this system, explanation and classification of clothing comfort and also in the scope of this classification psychological comfort, moving comfort and physiological comfort are given.

Section 3, thermophysiological comfort, as the main subject of the thesis, is considered thoroughly fewer under two subtitles, namely thermophysiology and thermal comfort. Under thermophysiology title, thermal regulation system of the human body is studied. And under thermal comfort title, we examined and explained in detail the meaning of thermal comfort in textile, how to manage it, which textile properties are involved in it and the effects of these properties on thermal comfort with the help of many figures and tables.

Section 4 starts with discussion of smart textile materials and gives information about heat storage and temperature regulated clothes. Possibilities of dynamic heat management and the textile production with this capability are also mentioned.

Section 5 includes an experimental study dealing with the ways of improving heat management in textiles, determination of important design parameters regarding this matter. Conclusions and discussions on the work done are given in Section 6. Findings show that fabrics have better heat capacity by coating of the phase change materials on fabrics.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

İnsanoğlunun tekstil ile (yani elyaf, iplik, kumaş, giyim ve diğer kullanım ürünleri olarak) birlikteliği ve bunlarla uğraşması ilk varoluşundan itibaren kendini soğuk, sıcak ve diğer doğa olaylarından koruma gereksinimi olarak başlamış ve güncelliğini korumuştur. İlk yaşam dönemlerinde insanlar öncelikle giyim eşyası, barınma ve korunma amaçlı çeşitli yapraklardan, liflerden, doğal bitki ağaç ve hayvani dokulardan faydalanarak ihtiyaçlarını kabaca karşılarken; daha sonraki insanlığın hızlı gelişme sürecinde, bu ihtiyaçların karşılanması daha bilinçli ve teknolojik bir mantık ile sistemli olarak gelişme göstermiş ve bugünkü ileri üretim seviyesine erişmiştir.

İnsanlık tarihinin gelişmesine paralel olarak "Bir tekstil yüzeyinden beklenen nedir?" sorusunun cevabı artık sadece barınma ve korunma amaçlı olmaktan çıkmıştır. Günümüzde bu sorunun cevabı çok daha karmaşıktır. Her şeyden öte tekstil endüstrisi sadece giyim ile alakalı değildir. Giyim sadece bu endüstrinin toplam çıktısının yarısını oluşturmaktadır. Kalan diğer yarısı ise ev tekstili ve endüstriyel uygulamalar arasında paylaşılmaktadır.

Teknolojinin inanılmaz bir hızla ilerlemesi ile birlikte Tekstil endüstrisi de bundan payını almış ve son derece hayrete düşüren sonuçlar elde edilmiştir. Artık üretilen kumaşlar bugünün ve yarının kumaşları olarak adlandırılmaktadır.

Bir tırtılın veya örümceğin ürettiği belli belirsiz olan lifinden çok da ince mikrofiberlerden veya tıpkı bir kelebeğin kanadındaki pullara benzeyen yanardöner elyaflardan oluşan kumaşlar, yeniden işleyip kullanılır duruma getirilebilen çevre dostu veya güneşin ültraviyole ışınlarından koruyan kumaşlar, insan bedeninin yalıtımını sağlamak amacıyla kendisini çevreleyen sıcaklığa tepki veren faz değiştiren malzemeleri içeren kumaşları yarının kumaşlarına örnek olarak verebiliriz. Ayrıca örneğin erozyonu ve kaymayı önlemek için toprak altında izolasyon,

filtrasyon, drenaj, kuvvetlendirme, koruma amaçlı kullanılan jeotekstiller, yumuşak doku implantları, ortapedik implantlar, kardiovaskuler implantlar veya ameliyat iplikleri gibi iç ve kanı temizlemek amacıyla kullanılan suni böbrek cihazı gibi ürünler, yara bakımı veya ameliyathanede hijyen amacı ile kullanılan ürünler gibi dış uygulamalarda kullanılan tıbbi tekstiller ve daha pek çok sayısız alanda farklı amaçlarla kullanılan teknik tekstiller, tekstilin giyim dışındaki farklı kullanım alanlarını oluşturmaktadır.

Yarının kumaşları tekstillerin akıllı kullanımı sonucu doğmuştur. Bundan dolayı yarının kumaşlarını akıllı tekstiller olarak da adlandırabiliriz. Akıllı tekstiller tasarlanırken üretimişlemlerinin gerektirdiklerinin bilinmesinin yanısıra kumaşların kullanım şartlarına nasıl tepki verdiği, karakteristiklerinin tasarım ve bitimle olan ilişkisi ve niye farklı amaçlar için kumaşların farklı özelliklere sahip olması gerektiğini bilmek oldukça önemlidir.

Kumaşların bazı estetik, konfor ve performans özellikleri ana hatlarıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir.[4]

1. Estetik karakteristikler: tutum ve döküm, esneklik, parlaklık, boncuklanma gibi görünüm ve yüzey özellikleri, örtme kabiliyeti,

2. Konfor karakteristikleri: emicilik, nefes alabilirlik, ısı tutma, yaylanma, uzama, elastiklik gibi özellikler,

3. Performans karakteristikleri: gerilme mukavemeti, aşınma dayanımı, bükülme dayanımı, ıslak mukavemeti, termoplastiklik, alev almazlık, güç tutuşurluk, keçeleşme, boyutsal dayanım, gibi özellikler şeklinde özetlenebilir.

Gelişmiş batılı ülkelerin yıllardır üzerinde durduğu ve ülkemiz için çok yeni sayılan "giyim konforu", bir bilim dalı haline dönüşmüştür. Bu gelişmeler karşısında hangi tür elyaftan, giysi konforuna yönelik en uygun hangi kumaşların üretilebileceğini bilmek, bir tekstilci için zorunluluk haline gelmiştir.

Bir kıyafetten beklenen nedir sorusu bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. İnsanların giydikleri bir kıyafetten beklentisi sadece iyi görünmek ve iyi hissetmek değildir. Güzel görünüşün yanı sıra günümüz tüketicileri satın aldıkları giysiden fizyolojik konfora da sahip olmalıdırlar. Giysi vücuda tamuymalı ve bedenle birlikte

uyumlu hareket etmelidir. Ayrıca konforlu bir giysi soğuk havada bizi ısıtmalı, sıcak havada ise serinletebilmelidir, güneşin zararlı ışınlarından bizi koruyabilmeli ve çevre dostu ürünler olmalıdır.

Giysi sistemi içerisindeki bir kumaşın veya tekstilin temel fonksiyonu, her tür çevre koşulu ve her fiziksel aktivite seviyesi için, vücudun kendisini termal dengeye, beden ve ten sıcaklığına veya terlemeye bağlı olarak kabul edilebilir fizyolojik bir konumda koruyabilmesini sağlamaktır.

Fizyolojik olarak insan, ten sıcaklığı 33-35 °C arasında olduğunda ve deri üzerinde terlemeye bağlı bir ıslanma söz konusu olmadığında kendini rahat ve konforlu hisseder. İnsan vücudunun kendisi otomatik sıcaklık düzenleme işlevi olan bir organizmadır. Vücut, metabolizmanın besin ve kas hareketi ile devamlı ısı, karbon dioksit ve su üretir. insan vücudu ısının .yayılma hızını, kan damarlarının genişlemesi ve daralması, kas ve ter bezlerinin çalışması ile düzenleyerek, vücut sıcaklığını sabit tutar.

Sabit bir vücut sıcaklığı sağlamak amacıyla insanlar vücutlarını bir tekstil malzemesi veya uygun bir dış tabakayla koruma altına alırlar. Bu sıcaklık yaklaşık olarak gövde için 34-36.5°C, eller ve ayaklar için 25.5-27.5°C, kollar ve bacaklar için 27-30°C olarak ifade edilebilir.

Bir insanı farklı iklim koşullarında koruyabilmek, metabolizmanın yaydığı ısı, çevrenin sıcaklık, nem ve rüzgar etkisi ile giysinin ısıl yalıtım, hava geçirgenliği ve su buharı taşıma kapasitesine bağlıdır. İdeal bir giysilik kumaş, termal konfor bakımından, üç özelliğe sahip olmalıdır:

1. Soğuktan korunmak için yüksek ısıl direnç;
2. Ilıman iklim koşullarında etkili ısı transferi için su buharı direncinin düşük olması;
3. Yüksek sıcaklık koşularında ısı transferini sağlayabilmek ve terleme nedeniyle hissedilen rahatsızlık verici tutum hissini yok etmek için sıvı taşıma özelliğinin yüksek olması.

Isı yalıtımının iki olası yolundan birisi, vücut ısısını hapseden pasif yalıtım malzemelerini kullanmak, diğeri ise, dış ortam ile ısı alış verişi yapabilen aktif malzemeler kullanmaktır. Tekstil lifleri, ısıyı havadan daha fazla iletir. Bu nedenle

giysiliklerde ideal yalıtkan, lif değil, durgun havadır. Lifli malzemeler, hacimli yapıları nedeniyle çok büyük miktarda hava hapsetme kapasitesine sahiptir. Diğer bir deyişle, tekstil esaslı iyi bir ısı yalıtkanın, hava hapsetme kapasitesi maksimumdur. Lifin ısı yalıtımına katısı ikincildir. Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri, örneğin, pamuk, yün, kenevir, ipek, polyester, poliamid, poliakriliklifl erden üretilen kumaşlar vücudun ısı kaybına belli bir dereceye kadar direnç sağlar; bu da, kumaş içerisinde var olan hava keseciklerinin sayısıyla ilişkilidir.

Vücut sıcaklığını konfor aralığında tutabilmek için, klasik yaklaşım, ortam sıcaklığına bağlı olarak giysi katı arttırmak veya azaltmaktır. Oysa giysi, çevre sıcaklığına göre ısıl direncini otomatik olarak değiştirebilirse, vücudun çevre ile ısı alış veriş hızını kontrol edebilir ve vücut sıcaklığını koruyabilir. Böylece sık sık giyinmek veya soyunmak gereksinimi ortadan kalkar; vücut konforu artar ve yaşamsal riskler azalır.

Kalın veya katlı giyim çoğu zaman ve ortamda etkili koruma sağlasa da yeterli olmadığı noktalarda yeni bir teknoloji gerekliliği doğmuştur. NASA; uzay araştırmalarında ortaya çıkan aşırı soğuk ve aşırı sıcak şartlarda astronotları ve teknik malzemeleri korumak amacı ile faz değiştiren malzemeleri (FDM) yalıtım malzemesi olarak kullanmıştır. Bu konuda tekstil endüstrisine bakıldığında en önemli gelişme 1965 yılında erimiş lityum torbaları içeren bir kumaşın termal yalıtım için geliştirilmesi ile olmuştur. Fonksiyonel tekstil malzemelerinin giderek önem kazanması ile birlikte çalışmalar 80'li yıllarda artarak devam etmiştir. Faz değiştiren malzeme (FDM) ile kaplanan tekstil materyali, o anki ulaştığı sıcaklığa bağlı olarak vücuda ısı verir veya vücuttan ısı alır. FDM'lerin özellikleri ile tekstillerde ısı yönetimi iyileştirilebilmekte ve tanımlanan konfor şartlarına ulaşılmaktadır. Faz değiştiren malzemelerin tekstil materyaline aplikasyonu ve aplikasyon sırasında minimum zararla karşılaşması için en uygun yol araştırılmış ve FDM'nin mikrokapsüllemenin ardından kumaşa kaplanması en uygun yöntem olarak tespit edilmiştir.

1950'li yıllardan itibaren karbonsuz kopya kağıdı üretimi için kullanılan mikrokapsülleme ısı yalıtım ve termal korunmada anahtar yöntem olmuştur. Mikrokapsülleme yöntemi inşaat sektöründe, tıbbi uygulamalarda, elektronik aygıtlarda -özellikle yarı iletkenlerde- ve kozmetik sanayinde geniş bir kullanım

alanı bulmuştur ve yeni uygulama alanları için çalışmalar devam etmektedir.

Isı depolayan ve sıcaklık düzenleyebilen tekstil ürünlerine, battaniye, uykutulumları, iç giyim ürünleri, ceketler, spor giysileri, çoraplar, dağ botları, mığferler örnek olarak verilebilir. Bu tip ürünlerin üretimi 1997'den itibaren gündeme gelmiş ve hızla artmaya başlamıştır. Bu ürünlerin olası uygulama alanları oldukça geniştir ve önemli bir araştırma alanıdır.

Bu çalışmada, tekstillerde ısı yönetimini iyileştirmenin yolları deneysel olarak araştırılmakta, giysi sisteminin ısı yönetimini iyileştirmede önemli tasarım parametreleri üzerinde durulmaktadır.

BÖLÜM 2. KONFOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Tekstilde Temel Konfor Kavramı

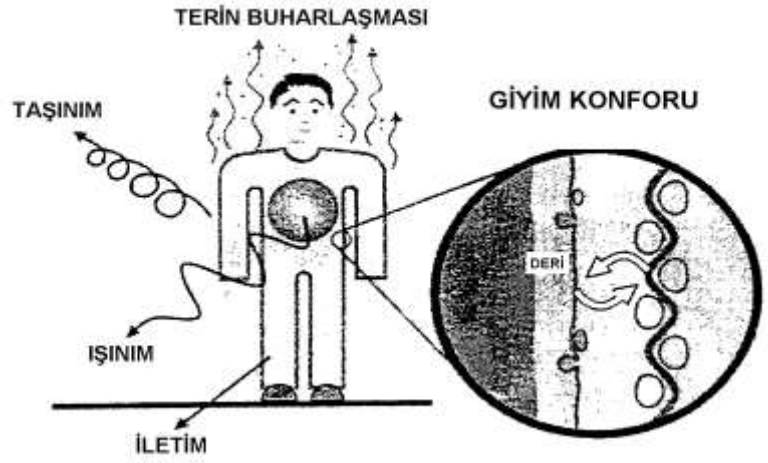
Konfor nedir? Bu sorunun cevabını net bir şekilde vermek gerçekten zordur. Çünkü konfor tanımlanması zor olan karmaşık, belirsiz ve her şeyden önemlisi sübjektif bir kavramdır. Yani verilen tüm koşulları aynı olan bir ortamda iki kişiden biri kendini rahat diğeri rahatsız hissedebilir. Her ne kadar konfor sübjektif bir kavram olsa da bir ortamdaki insanların %80'i kendilerini rahat hissediyorlarsa ortam konforlu kabul edilir [1].

Konfor terimini genel olarak rahatsızlığın, isteksizliğin ve sıkıntının olmaması olarak tanımlayabiliriz. Tekstil bilim adamları insanların kıyafetin içinde kendilerini konforlu olarak hissetmelerini, giydikleri kıyafeti fizyolojik ve psikolojik olarak hissetmedikleri zaman mümkün olabileceğini söylemektedirler. Giysinin hissedilmesi sonucu genellikle konforsuz olarak nitelendirilen ifadeler ortaya çıkar. Örneğin, çok sıcak, çok soğuk, çok ıslak, çok dalayıcı, çok ağır, çok engelleyici gibi. Kıyafet kişi tarafından hissedildiğinde çok nadir olarak olumlu ifadeler kullanılır. Genelde, insanlar kendilerini üzerlerine ek bir kıyafet giymek yada çıkarmak ihtiyacı duymadıkları zaman termal yönden konforlu sayarlar. Tekstil bilim adamları sabit sıcaklık ve nem koşulları altında bulunan bir odada, kişinin otururken yada hareket halindeyken termal konforunu sorguladığı zaman, sonuçlar genellikle merkezi bir noktadan uzaklaşan sıcaklık ve serinlik derecesini gösterir. Bu merkezi veya nötr nokta ise konforu temsil eder. Aynı durum rutubet içinde geçerlidir. Rutubet hissedilmediği zaman, insanlar giydikleri kıyafetin konforlu olduğuna karar verirler. Konforlu olma halini aksi durumunda, nötr noktadan uzaklaşma derecesi belirtilir. Özetle bir kişi, kıyafeti giydiği zaman, ya konforlu ve rahattır yada bazı konforsuzluk niteliklerini hisseder [2].

2.2. İnsan-Giysi Sistemi

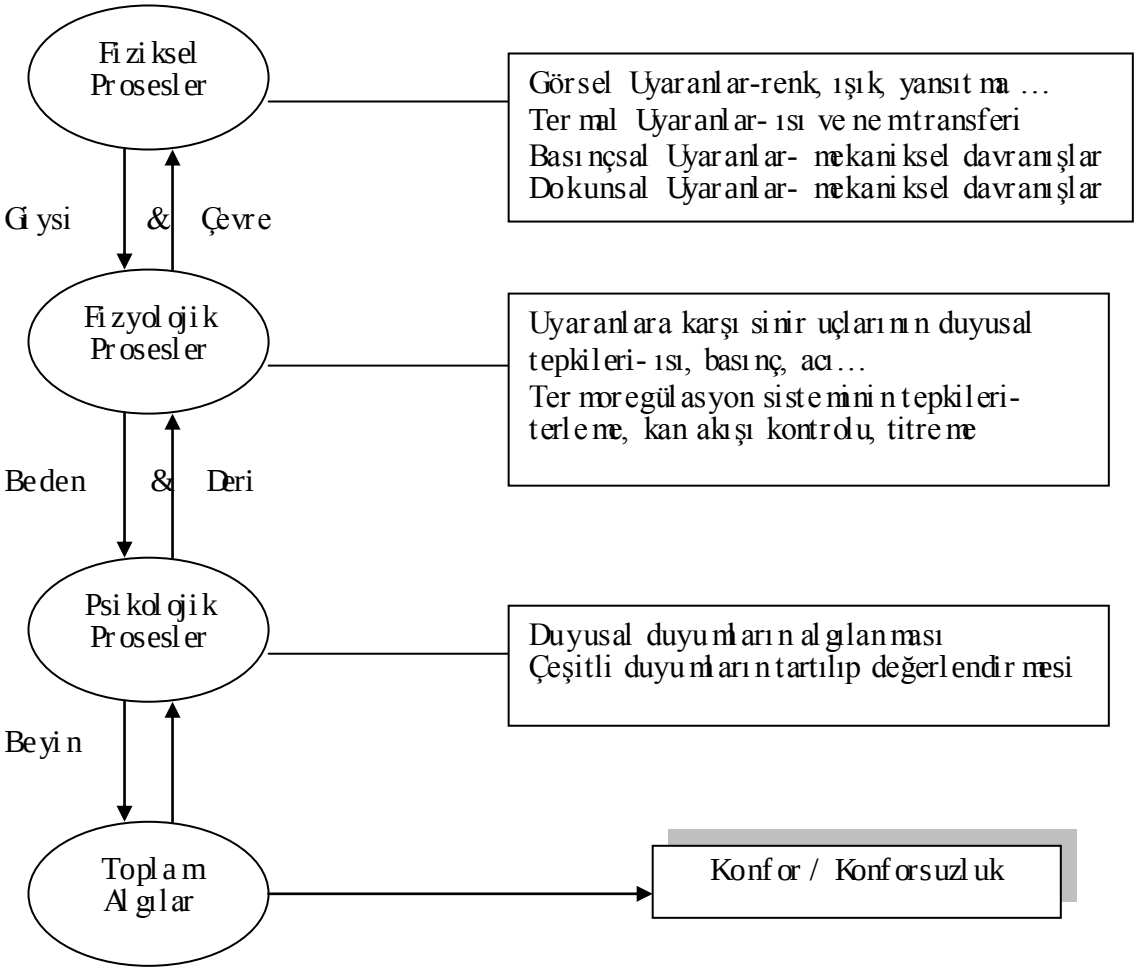
Geleneksel olarak sınıflandırılmış giyim fonksiyonları açıkça gösteriyor ki kıyafeti giyen kişinin konfor durumunu sübjektif değerlendirmesinde, giysinin insan vücudu ve etrafındaki çevre arsındaki ara yüzeyde oynadığı rolün yani hangi fonksiyonunu gerçekleştirdiğinin önemi büyüktür. İnsan-giysi sistemini, fiziksel, duyumsal, psikolojik, bilgisel yönden çevresiyle dinamik etkileşimiçinde olan açık bir sistem olarak düşünebiliriz. Bu kabul çerçevesinde konforu meydana getiren öznel algının nasıl oluştuğunu daha iyi anlayabiliriz. Şekil.2.1'de açık sistem şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistemde konforu belirleyen birtakım süreçler meydana gelir:

- Kıyafetten ısı ve nem geçişi, vücut ve kıyafet arasındaki mekaniksel etkileşim ve kıyafetin ışığı absorblaması ve yansıtması giysideki fiziksel proseslerdir ve bu süreçler vücudu uyaran fiziksel sinyallerdir.
- Vücuttaki fizyolojik proseslerise aynı zamanda vücudun fizyolojik durumunu da belirleyen vücudun termal dengesi, vücudun ısı düzenleyici tepkileri ve çevreyle ve kıyafetle olan dinamik etkileşimlerinden oluşur.
- Nörofizyolojik prosesler, örneğin deri, göz ve diğer organlardaki vücudun duyumsal algı sisteminin nörofizyolojik mekanizmaları vücudun giysiden ve çevreden aldığı duyumsal sinyalleri formüle edilmesidir.
- Psikolojik proseslerde ise beynin işlevleridir. Bu işlevler özetle, nörofizyolojik duyumsal sinyallerle oluşan duyumsal hislerin öznel algılanması ve sonra bu öznel algının formüle edilmesi ve daha sonra da geçmiş deneyimlere ve içsel arzuya göre sonuçların ölçülüp tartılarak tercih edilmesini kapsar [5].



Şekil 2.1. İnsan bedeni - giysi - çevre sistemi [5]

Bu dört tip proses aynı anda meydana gelmektedir. Giysi ve çevre içindeki fiziksel prosesler, bedenin konfor ve yaşamsal durumu için fiziksel şartları belirler ve fizik kurallarını takip eder. Bedenin termoregülasyon sisteminin tepkileri ve derideki sinir uçlarının duyusal tepkileri fizyolojik kuralları takip eder. Termoregülasyon ve duyu sistemi, bedenin hayatta kalması için uygun fiziksel koşulları sağlamak amacıyla ve konfor durumunu etkileyen çeşitli fiziksel koşullar hakkında beyni bilgilendirmek amacıyla kıyafetten ve çevreden gelen fiziksel uyarılara cevap verir ve bu süreç fizyolojik prosesleri oluşturur. Psikolojik prosesler ise bizim daha az derecede anlayabildiğimiz oldukça karmaşık süreçleri içerir. Bu süreçte beyin, dış etkilere ve iç isteklere bağlı olarak, sinir uçlarından gelen duyusal sinyaller ile oluşan öznel algıları formüle eder sonra geçmiş deneyimlerine karşı bu duyusal algıları tartar ve değerlendirir. Tüm bu prosesler süresince, beyin, sonucunda konfor durumunun, kararının ve tercihlerin oluştuğu kapsamlı öznel algılarını formüle eder. Bu dört tip proses birbirleriyle dinamik bir şekilde etkileşim içindedirler ve bu etkileşimi aşağıdaki Şekil 2.2'de görebiliriz[5].



Şekil 2.2. Beynin konfor kararının oluşum süreci [5]

2.3. Giyim Konforu

İnsan vücuduyla birebir temas halinde olduğu göz önüne alınırsa tekstil endüstrisinin en öncelikli hedefi hiç şüphesiz konfordur. Bu nedenle yapılan tüm çalışmalar konfor kavramı ile tekstil endüstrisi arasındaki bu paralelliği daha da güçlendirme amacını gütmektedir. Psikolojik ve fizyolojik olmak üzere iki çeşit giysi konforu tanımlanmaktadır. Örneğin kendimizi iyi hissetmemize neden olan çevre dostu ürünlerin kullanımı psikolojik konforu getirir. Tüketicilerin genel kabulü demek olan modaya veya kişisel beğeniye göre giyinmek güzel görünmeyi, buda iyi hissetmemizi sağladığından psikolojik konfor yine elde edilmiş olur. Giyimin bize fizyolojik konforu da beraberinde getirebilmesi için özellikle son kullanım ürünlerinin tasarımı yapılırken hem geleneksel, denenmiş, doğru yapıları takip etmeli hem de vücut fonksiyonlarının nasıl olduğu hesaba katılmalıdır. Diğer deyişle, fonksiyonel tasarım mutlaka yapılmalıdır.

Fonksiyonel kumaş tasarımları 1980'li yıllardan itibaren özellikle askeri ve iş kıyafetlerinde çok büyük gelişmeler göstermiştir. Fonksiyonel kumaşların geliştiren ciddi ve çok sayıda araştırma grupları oluşturulmuştur. Günümüzde ise sadece askeri ve bu kumaşları gerektiren iş sahalarında değil, günlük kullanımda da kumaşın bu fonksiyonel özellikleri taşınması beklenmektedir. Yani teknoloji insanı dediğimiz çağımızın insanları yalnız güzel görünmek değil aynı zamanda bir kumaştan beklenecek her türlü fonksiyona sahip olmayı istemektedir.

Giyim insan hayatının vazgeçilmez bir parçasıdır ve birtakım fonksiyonlara sahiptir: Süs, statü, tutarlılık, koruma. En son modanın ve estetik çekiciliğin vasıtasıyla tasarlanan bir giysiyi kişi giydiğinde güzel görünür ve böylece bu düşünce ile zihinsel konfor sağlanır. İyi prova edilmiş lüks giysiler bu kıyafeti giyen kişinin sosyal statüsünü yükseltir buda kişiye memnun edici bir his verir. Aynı zamanda kıyafetler vücudun fiziksel kusurlarını da örter. Fakat giyimin en öncelikli rolü uygun olmayan fiziksel çevre koşullarına karşı insan vücudunu bir bariyer tabakası gibi korumaktır. Kıyafetin koruma rolü birtakım fonksiyonları içerir. Bunlar;

- Vücudun hayatta kalması için gerekli olan uygun termal çevrenin sürekliliğini sağlamak,

- Vücudun yaralanmalardan, radyasyondan, rüzgardan, elektrikten, kimyasal maddelerden, mikrobiyolojik atıklardan gibi etkenlerden zarar görmesini engellemek şeklinde özetle belirtilebilir.

Slater, konforu insan ve çevre arasındaki uyumun fiziksel, psikolojik ve fizyolojik açıdan memnuniyet verdiği durum olarak tanımlar. Slater aynı zamanda konforda çevre faktörünün önemini vurgulamıştır ve konforun üç çeşidini ifade etmiştir. Fizyolojik konfor yaşamın sürdürülmesi için insan vücudunun faaliyetleriyle, psikolojik konfor zihinsel faaliyetlerle, fiziksel konfor ise dış çevrenin vücut üzerine etkisiyle ilgilidir [5].

Konforu kesin bir şekilde tanımlamak zordur; buna karşılık konforsuzluğu soğuk, sıcak, kaşıntı verici, dalayan gibi ifadelerle daha kolay tanımlayabilmekteyiz. Bu nedenle konforu genel bir ifadeyle rahatsızlığın ve isteksizliğin yada sıkıntının olmaması olarak tanımlayabiliriz. Unutulmaması gereken bir nokta vardır ki, konforun sübjektif bir kavram olduğu ve bu nedenle konu insan olunca konforun varlığı ve sürekliliğinin sağlanması fiziksel, fizyolojik ve psikolojik faktörlerin uygun değerlerde ortak paydada toplanmasıyla mümkündür.

Bunların dışında psikolojik, fiziksel ve fizyolojik durumlar konforla ilgili birçok görüşü gündeme getirmiştir. Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Termofizyolojik konfor: Vücut sıcaklığının korunması halinde konforun elde edilmesidir. Buda ısının ve nemin kumaştan geçişiyle ilgilidir.
- Duyusal Konfor: Konforun duyusal yönü tamamıyla tekstil yüzeyinin deriyle olan teması sonucunda elde edilen hislerimizdir.
- Vücut Hareket Konforu: Kıyafetin, hareket özgürlüğüne izin verme yeteneği, vücut üzerindeki ağırlığının azaltılması ve istenilen vücut şeklini almasıdır.
- Estetik Güzellik: Konforun bu yönü giysiyi giyen kişiyi güzel görünmesine yardım eden kıyafetin duyu organlarımızın tarafından sübjektif olarak değerlendirmesidir [2, 5].

Konfor kavramını daha iyi kavramamızı sağlayan bu tanımlardan aşağıda sıralanan konforla ilgili temel unsurlar öne çıkmaktadır:

- Konfor çeşitli duyuların öznel algısıyla ilgilidir
- Konfor insani hislerin birçok yönünü içermektedir: görsel, termal, duyusal ve fiziksel (rahatsızlık hissi) gibi.
- Öznel algılamaların oluşması psikolojik süreçleri gerektirir. Bu süreçler daha önceden edinilmiş deneyimlere ve bir kıyafetten beklenen isteklere bağlı olarak ilgili duyusal algıların formüle etmesi, ölçüp biçmesi,birleştirmesi ve değerlendirmesi ile oluşur. Bu süreç sonucu kişinin öznel konfor değerlendirmesi oluşur.
- Vücut giysi etkileşiminin kişinin konfor durumunu belirlemesinde önemli rolü vardır.
- Konforun belirlenmesi üzerinde dış çevre (fiziksel,sosyal ve kültürel) de büyük bir etkiye sahiptir

Bu açıklamalar gösteriyor ki konfor tek bir tarife sığdıramayacağımız çok yönlü ve pek çok faktörün etkili olduğu kompleks bir kavramdır. Sonuç olarak, çok kanallı duyular vasıtasıyla beynin, dış çevre ve kıyafetten alınan birçok uyarıcı ile iletişimi sonucu oluşan karmaşık prosesler sonucu konforun sübjektif değerlendirmesi ortaya çıkar [5].

Tüm bu bilgilerin ışığı altında yapılan bu tez çalışmasında konfor kavramı üç ana başlık altında incelenmiştir. Giyim konforunun sınıflandırması aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

- Psikolojik konfor
- Hareket konforu
  - Günlük kullanımda
  - Yüksek aktivite seviyelerinde
- Fizyolojik konfor
  - Termofizyolojik konfor
  - Nörofizyolojik konfor

2.3.1. Psikolojik Konfor

Giyimin konfor davranışını incelerken tam anlamıyla fiziksel kaynaklı olmayan ve aynı giysiye farklı kişiler tarafından daha farklı yorumlar yapılmasına neden olan sübjektif değerlendirmeler bulunmaktadır. Bu farklı değerlendirmeleri oluşturan neden, kumaşın estetik faktörleri olarak adlandırdığımız tutum, yumuşaklık, döküm, esneklik, parlaklık, boncuklanma, hidrofob veya hidrofilik özellikleri, örtücülük ve ses gibi faktörlerin kişinin fizyolojisine uygun olarak insan beyninin farklı algılaması ve dolayısıyla algıya verilen cevabında farklı olmasından kaynaklanır. Ayrıca renk, stil, modaya uygunluk ve benzeri karakteristikleri de farklı sübjektif değerlendirmelerin bir başka sebebi olarak da sayabiliriz. Estetik özellikler genelde elbisenin nasıl hissettirdiği veya göründüğü ile ölçülebilir fakat tekstilde bu sonuçlarla ilgili olan sayısal değerlendirmeler de söz konusudur.

Konforun psikolojik yönü beynin çalışması sonucu oluşur. Duyusal algılar beyne ulaşır, formüle edilmek üzere değerlendirilir ve tartılır sonuçta konforun bütünüyle sübjektif değerlendirmesi, giyim tercihleri ve ürünü satın alma davranışımızı etkileyen kararlar ortaya çıkar [5].

Psikolojik süreçleri anlamak için bu algıları sübjektif bakımdan ölçmemiz gerekir. Sübjektif ölçüm bir kişinin düşüncesini direkt olarak ölçmek demektir. Kişinin giydiği giysi hakkında tam olarak ne düşündüğünü ve hissettiğini objektif bir şekilde ölçen fiziksel bir ölçüm cihazı olmadığından, öznel algıları elde etmenin tek yolu psikolojik skalama yöntemini kullanmaktır. Psikolojik skalama yöntemi ile yargıları oluşturma süreci yaşamımız boyunca deneyimlerle kazandığımız ve söylediğimiz kelimelerin veya lisanın ölçüsüne dayanır.

Bu ölçümde karşılaşılan pek çok problem vardır. Her şeyden önce ölçüm tamamıyla insanın bireysel özelliklerine, değerlendirme becerilerine bağlıdır. İkinci olarak insanoğlunun düşüncelerinde çok geniş bir aralıkta farklılıkların olmasıdır. Üçüncü problemise sübjektif veriler üzerinde istatistiksel analiz yapılırken karşılaşılan büyük zorluklardır. Çünkü sübjektif cevaplar gerçek sayılar değildirler ve her bir cevaplayıcı tarafından kullanılan zihinsel kalibrasyon aynı olmayacaktır. Son olarak bir diğer problem öznel verilerde var olan tutarsızlıklardır. Çünkü bireylerin düşünceleri psikolojik, fizyolojik, sosyal ve çevresel faktörleri kapsayan çok fazla sayıda etkenden etkilenmektedir [10].

Tüm bu zorluklara rağmen, insan davranışlarını çözmek için bilimsel psikoloji 100 yıldan fazla bir süredir geliştirilmektedir. Psikolojik skala alanında, özellikle sübjektif cevaplardan elde edilen veriler tutularak, psikolojik kuralların, deneysel tekniklerin ve matematiksel metotların geliştirilmesi konusunda son derece önemli çalışmalar yapılmıştır. Pek çok araştırmacı giyim konforu üzerine yaptıkları çalışmalarında psikolojik skala tekniklerini uygulamışlardır.

Psikolojik skala oluşturulurken esas olarak altı temel elemanı vardır. Bunlar;

1. Ölçümde yaygın olarak kabul edilen sıfatlar (nitelikler),
2. Bu sıfatların farklı dillerdeki tanımları,
3. Niteliklerin derecelerini belirtmek üzere skalanın ayrılması,
4. Nitelik ölçümlerine sınıflama skalasını uygulamak için bir sınıflama paneli,
5. Uygun verilerin ele alınması,
6. Aynı nitelikler için sübjektif ölçümlerin ve psikolojik skaladan alınan sonuçların karşılaştırması [11].

Giysinin insanda yarattığı duyumlar insan aktivitesinin çeşitli kombinasyonlarına ve günlük yaşam süresince başından geçen çevresel koşullara bağlıdır. Araştırmacılar konforla ilgili estetik, nem, tutum, termal ve dokunsal tecrübeleri içeren yaygın olarak tanınan giyim niteliklerini tanımlamışlardır. Genellikle bilimadamları araştırmalarında, duyumları tarif eden bu tanımlar; rahat, üste iyi oturmuş, bol, kalın, hafif, sert, statik, emici olmayan, soğuk, serin, sıcak, yumuşak, ılık, ıslak, yapış yapış, sıkıca sarılan, nemli, üşütücü, yapışkan, toplanan, pütürlü, tırmalayan, batan, kaşıntı yapan, gıdıklayıcı, ve yırtık pırtık şeklinde yirmi altı adet ifade edilmiştir [5].

Psikolojik ölçümlerin yapıldığı çalışmalarda genellikle izlenen prosedür aşağıdaki gibidir:

i. Katılımcı sayısının 10 ile 40 arasında değiştiği gruplar organize edilir
ii. Araştırılan ürünün konsepti gruba takdim edilir.
iii. Ürünle ilgili olarak mümkün olan çok sayıda tanımlayıcı yazmaları için katılımcılar desteklenir.
iv. Daha başka tanımlayıcıların yaratılması için grup tartışmaları oluşturulur.
v. Biçimsel şebekenin içine dahil edilmesi için grupta çoğunlukla üzerinde hem fikir olunan tanımların listesi elde edilir.

vi. Daha sonra bu listede grup içinden çıkan her bir karşıt eşleşmenin anlamı üzerinde anlaşılır, rafine edilir, temizlenir ve kesin tanımlar tespit edilir [12].

Psikolojik konforun ne olduğunu açıklarken yukarıda anlatılan bilimsel tespitlerin yanı sıra, kişinin kendini iyi ve mutlu hissetmesi de önemlidir. Örnek vermek gerekirse, bu durum özellikle çevre dostu ürünler kullandığımız zaman, çevreye zarar vermediğimizi düşünerek kendimizi iyi hissederiz yada modaya uygun giyindiğimiz zaman şık olduğumuzu hisseder ve bu düşüncenin yarattığı mutlu ve konforlu duruma sahip oluruz.

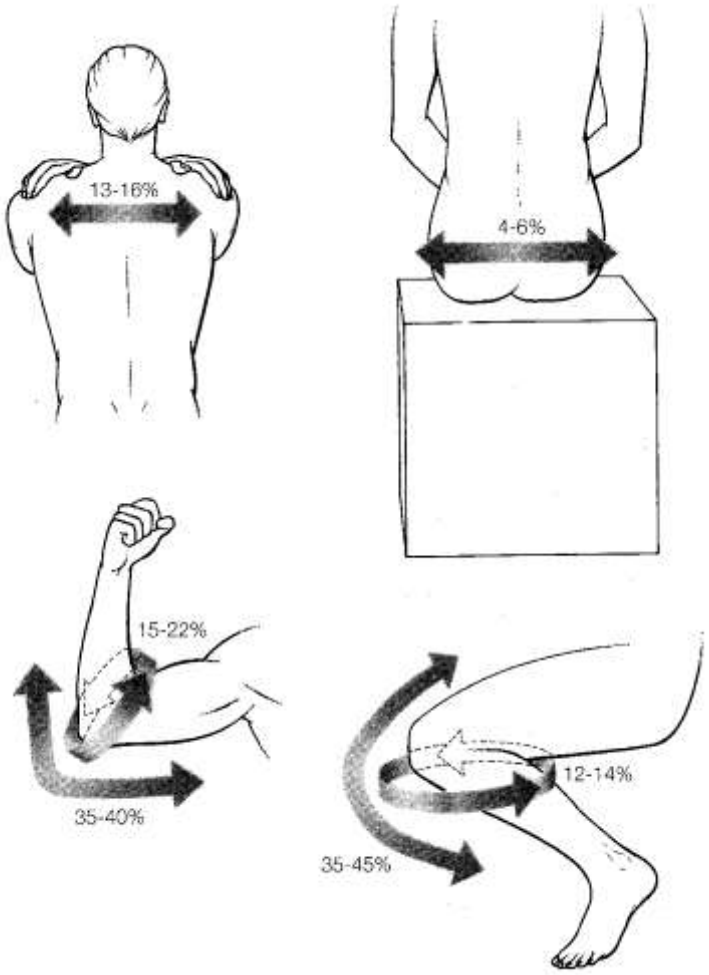
2.3.2. Hareket Konforu

İnsanlar giydikleri kıyafetlerin içinde rahatça hareket edebilmelidirler. Kumaşlar, üzerlerine sadece küçük bir kuvvet uygulanmasıyla bile kolayca deforme edilebildikleri için en uygun giysi malzemeleridirler. Eğer kumaş hareketi sınırlarsa veya sıkıntı verirse ya da vücut üzerinde basınç yaratırsa konforsuzluk oluşur. Temel olarak vücut hareket konforu, kumaşın esneme, ağırlık, basınç ve sıkıştırılabilirlik faktörlerini kapsamaktadır.

2.3.2.1. Esneklik

Esneklik bir tekstil yüzeyinin çekme kuvveti uygulandığında uzaması ve bu kuvvet ortadan kalktığında eski boyutlarına tamamıyla çabucak dönebilme kabiliyetidir. Başka bir deyişle tekstil malzemelerinin esnek olması demek yüksek uzama yüzdesine ve elastik toparlanmaya sahip olması demektir. Şekil 2.3'te cilde yakın olan giysilerin genel olarak sahip olması gereken uzama oranları gösterilmiştir. Geri dönemeyen kumaş uzama oranı ise "%100-geri dönen uzama yüzdesi" olarak hesaplanır [2].

Genel olarak %15 ve daha fazla uzamaya sahip olan kumaşlar esnek kumaş, %15'ten az uzamaya sahip olan kumaşlar ise rijit kumaş olarak kabul edilirler. Çoğu dokuma kumaşlar rijit kumaşlardır. Çükü ipliklerin yapı içindeki yerleşimleri gerilim kuvveti altında kumaşın çok az uzamasına izin verir. Bu yüzden esnek dokuma kumaşlar elastik elyaflardan ve ipliklerden imal edilirler. Örme kumaşlar ise ipliklerin ilmek şeklinde yapılanmasından dolayı minimum %15 uzamaya sahip olurlar fakat yinede rijit kumaş olarak yapılabilirler [2].



Şekil 2.3. Beden üzerinde önemli esneme noktaları [2]

Genellikle konfor ve görünüş açısından kumaşların esnek (streç) kabul edilebilmeleri için aşağıdaki tabloda belirtilen minimum uzama ve geri dönme yüzdelerine ve maksimum büyüme yüzdelerine sahip olması gerekmektedir.

Tablo 2.1. Farklı giysilerin esneklik özellikleri [2]

	Minimum Uzama Yüzdesi	**Minimum Geri Dönme Yüzdesi**	**Kalıcı Deformasyon Yüzdesi**
Takım Elbise	15-25	98	2
Seyirci Spor Giysisi	20-35	95	5
Form-fit Kıyafeti	30-40	95	5
Aktif Giysi	35-50	94	6

Konfor Esnekliği: Konfor esnekliğine sahip kumaşlar %15-30 aralığında uzama gösterirler. Bu gibi kumaşlar özellikle dirsek, diz, sırt ve kalça bölgelerinde beden hareketlerine karşı koymayacak, vücuda yakın ve vücut şekline uygun giysilerin üretilmesine olanak sağlar. Pantolonluk ve gömleklik dokuma kumaşların %2-3'ü spandeks veya esnek ipliklerden oluşuyorsa ya da kumaşın kontrüksiyonu uzamanın ve geri toparlanmanın oluşmasına izin veriyorsa bu kumaşlar konforlu esnek kumaşlar olarak kabul edilir [2].

Yüksek Hareket (Güç) Esnekliği: Güç esnekliğine sahip kumaşlar konfor esnekliğine sahip olan kumaşlardan çok daha fazla uzama yeteneğine sahiptirler. Bu oran %30-200 arasındadır. Bu kumaşların yüksek hareket düzeyleri için kullanılmasının nedeni yüksek uzama yüzdeleri ve uzadığı kadarda geri dönebilmelerinden kaynaklanır. Bu tip kumaşlar cilt üzerine sıkıştırma basıncı uygularlar ve böylece vücudun seklini alırlar. Bu yetenekleri özellikle yüzücü kıyafetlerinde, temel giysilerde, esnek kayak pantolonlarında ve aktif spor giysilerinde çok yararlıdır. Güç esnekliğine sahip kumaşlar aynı zamanda çeşitli vücut parçalarını desteklemek amacıylada kullanılabilir. Örneğin sutyenlerde kullanıldıklarında göğüsleri desteklemek veya uzun çoraplarda kullanıldığında damarları desteklemek amacıyla kullanılır [2].

Kumaşlarda esneme yönü dikey, yatay veya her iki yönde de olabilir. Dikey yönlü esneme de kumaşın boyu esner. Bazı pantolonlar dikey esneyen kumaşlardan yapıldıkları zaman çok konforlu olurlar. Yatay yönlü esnemede ise kumaşın eni esner. Çoğu esnek kumaşlar bu ikinci tiptedir. İki yönü esneyebilen kumaşlarda adından da anlaşılacağı gibi her iki yönde yani hem kumaş boyuna hem kumaş enine olarak esnerler. Bütün güç esnekliğine sahip olan kumaşlar ve bazı konfor esnekliğine sahip olan kumaşlar iki yönlü esneme yeteneğinde olan kumaşlardır.

2.3.2.2. Ağırlık

Giysi ağırlıkları, kıyafeti giyen kişinin taşıması gereken yükü belirlediğinden konfor ve konforsuzluk durumuyla yakından ilgilidir. Tablo 2.2'de giysilerin ağırlıkları belirtilmiştir. Örneğin alışveriş yapan bir kişinin üzerinde ağır bir palto olması kişinin dükkanda bulunma süresini sınırlar. Maraton koşucuları hafif ağırlıkta olan giysi giyerler. Yine omzunda sırt çantasıyla gezen bir kimse veya uzun yürüyüş

yapan kimseler, dağcılar mümkün olduğunca yükü azaltmak için hafif giysiler giymek ve düşük ağırlığa sahip kumaşlardan yapılmış ürünleri taşımak isterler.

Tablo 2.2. Bir kişinin ortalama olarak giydiği çeşitli giysilerin yaklaşık ağırlıkları [2]

ERKEK GİYSİLERİ	Paund	Kilogram	KADIN GİYSİLERİ	Paund	Kilogram
Ceket	2.43	1.10	Dış giyim(elbise/etek ve bluz)	1.06	0.48
Ceket cebi içeriği	0.79	0.36	İç çamaşırlar	0.68	0.31
Pantolon	1.12	0.51	Uzun çorap / külotlu çorap	0.09	0.04
Pantolon cebi içeriği	0.37	0.17			
İç çamaşırlar	0.40	0.18			
Gömlek ve Kravat	0.64	0.29			
Süveter	0.66	0.30			
Toplam giysiler	6.41	2.91	Toplam giysiler	1.83	0.83
Şoset çorap ve Ayakkabılar	2.00	0.91	Şoset çorap ve Ayakkabılar	1.04	0.47

Kumaşın ağırlığı arttıkça daha iyi ısınır kanısı yanlıştır. Yalıtım yeteneğine sahip olan kumaşlar içinde büyük miktarda ölü hava bulunduran kumaşlardır. Sıcaklık ağırlık olmaksızın kumaşın kalınlığını belirleyen hafif elyaflardan elde edilebilir.

2.3.2.3. Basınç ve Sıkıştırma

İnsan bedeninin şeklini almak isteyen kumaşlar (güç esnekliğine sahip kumaşlar gibi) vücut üzerine basınç uygular. Diğer kumaş tipleri ise küçük vücut alanları tarafından desteklendikleri için beden üzerine bir miktar yüzey basıncı uygular. Vücut üzerine uygulanan basınç miktarının belirlenmesinde giysi dizaynı ve formunun önemi büyüktür. Bu önem şu şekilde açıklanabilir: Ceplerinde anahtar ve bozuk para bulunan ağır bir pantolon yaklaşık 1 kg gelebilir. Eğer pantolon askı ile tutuluyorsa, omuzların üzerindeki iki küçük bölge tüm ağırlığı desteklemek zorunda kalır. Eğer pantolon kemerle tutturulmuşsa, yük daha geniş bir alana yayılır ve buyüzden basınç daha düşük olur [2].

Basınç, birim alana düşen kuvvettir ya da basınç, yüzeye uygulanan kuvvetin yüzey alanına oranıdır. Basınç birimi genellikle kuvvetin alana bölümü olarak ifade edilir.

Örneğin pound/inç² veya Newton/m². Kumaş tarafından vücuda uygulanan 60 g/m²'den küçük basınçlar genellikle konforlu, 60-100g/m² arasında olan basınçlar ise konforsuz olarak kabul edilirler [9].

2.3.3. Fizyolojik Konfor

İnsanlar daima değişen bir çevre içinde yaşarlar. Çevredeki değişen her durum için, vücudun bütün sistemleri kendini ayarlamak mecburiyetinde kalır. Yani vücut dışarıdan gelen bilgileri zamanında değerlendirerek bunlara anlamlı ve uyumlu cevaplar çıkarır. Fizyolojik konforda hedef, değişen bu çevre koşullarında vücudun uyumlu cevaplarına giysinin yardımcı olmasıdır. Fizyolojik konforu, termofizyolojik ve nörofizyolojik olmak üzere iki başlık altında inceleyebiliriz. Termofizyolojik konforda en önemli hedef, giysi ile vücudun termoregülasyon sistemi de göz önünde bulundurularak uygun termal dengenin elde edilmesidir. Bir başka deyişle termofizyolojik konfor, konforlu termal durumun (çok soğuk ve çok sıcak olmaması) ve uygun deri ve kumaş nemi içeriğinin (çok ıslak olmayan) elde edilmesini kapsar. Nörofizyolojik yani duyusal konfor da ise bilinen 5 duyu organlarımız vasıtası ile algılanan kumaşın vücuda en uygun yapıya sahip olması hedeflenir. Kumaşın daha çok deri ile birebir temas ettiği göz önüne alınırsa nörofizyolojik konforda kumaşın deri ile uyumu üzerinde daha çok durulur. Ayrıca nörofizyolojik konfor, derinin algıladığı kumaş hissinin yanı sıra kumaşın elektriksel direncinin neden olduğu statik elektriklenmeyi ve elektik çarpmasını da içerir.

2.3.3.1. Termofizyolojik Konfor

İnsan vücudu, içinde metabolik aktivite ile sabit bir enerjinin üretildiği ve bu enerjinin devamlı olarak çevreye kuru transfer veya su buharı birlikteliğiyle gizli ısı kaybı olarak dağıldığı bir termodinamik sistemdir [1]. Vücut, ısıyı güneşten, iç metabolizmadan, fiziksel egzersizden veya çok üşüme durumunda iskelet kaslarının mecburi olarak büzülmesi sonucu kazanır. Kazanılan bu ısı vücut ve çevre arasındaki sıcaklık meyiline bağlı olarak iletim, taşınım ve ışınımla kaybedilir veya vücudun termoregülasyon sisteminin bir mekanizması olan terleme ile vücuttaki suyun buharlaşması sonucu süratli olarak yüksek miktarda ısı kaybedilir. Vücut yüzeyinin yanındaki bu ısı akışı ve buharlaşma vücut sıcaklığını kontrol eder. Vücut sıcaklığı, giysi konforu kararında en kritik faktördür. Giysi bir yandan istenilen ısı kaybına izin

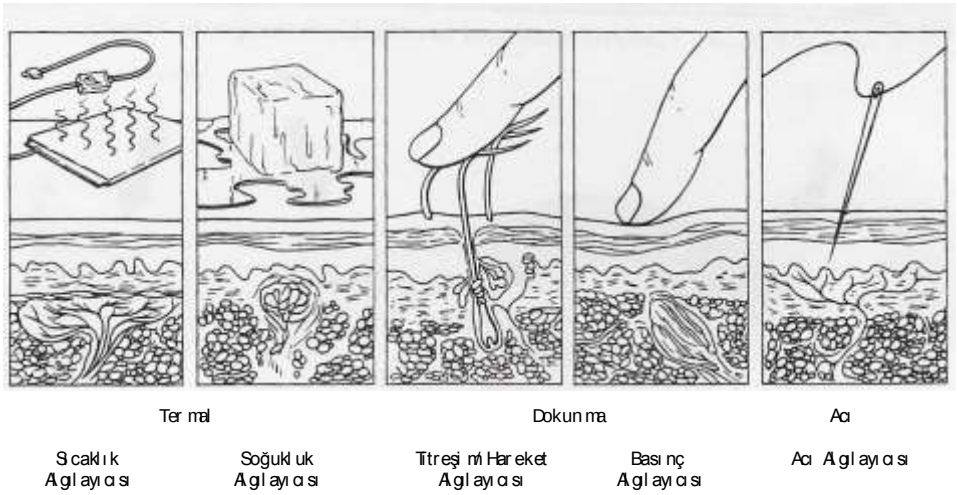
vermeli, diğer taraftan istenmeyen ısı kaybını da vücutla çevre arasındaki termal yalıtımı sağlayarak önleyebilmelidir.

Özetle termal konforun giyimde anlamını bulması temel olarak iki önemli faktöre bağlıdır. Bunlar: ısı hareketleri ve su buharı dolaşımıdır. Konfor açısından uygun termal denge bu iki faktörün etkinliği ile elde edilir [3].

Yapılan bu tez çalışmasının da ana konusu olan termofizyoloji ve termal konfor Bölüm 3'te ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

2.3.3.2. Nörofizyolojik (Duyusal) Konfor

Deri ile kumaş etkileşimi sonucu olan çeşitli hisler derinin içindeki duyusal alıcılar tarafından tetiklenir. Araştırmacılar genel olarak üç duyusal sinir kategorisi tanımlarlar ve bunların tüm duyguları kapsadığı konusunda hemfikirdirler: acı grubu, basınç ve titreşimin hissedildiği dokunma grubu, sıcaklık ve serinliğin hissedildiği termal grup (Şekil 2.4). Derinin yüzeyine yakın bir algılayıcı aşağı yukarı direk olarak beyine bir sinir ile bağlıdır. Hangi algılayıcının tetikleneceği, kumaşın deriyle nasıl etkileştiği (örneğin, sadece aşağıya basınç veya hem basınç hemde deri üzerinde hareket) ve kumaşın yüzeyinin özelliklerine (örneğin, tüylülük, pürüzsüzlük, sertlik gibi) göre değişir [2].



Şekil 2.4. Duyu sinirlerinin deri yüzeyi üzerinde yer alan ve hareket eden kumaşa tepki göstermesi [2]

Kumaşın sebep olduğu dalama hissi, sıklıkla birçok iğne batması duygusu olarak tanımlanır. Kaşıntı genellikle dalamanın bir parçası veya sonucudur. Dalama anlaşılması zor bir duygudur ve saniyelik dönemlerde yoğunluğunda dalgalanma olabilir. Dalama hissi, batma duygusuna neden olan kumaşın deri üzerine yerleştirilmesi ve dalamanın hissedilmesi arasında birkaç saniyelik gecikme ile ağrı grubunun duyusal algılayıcıların uyarılması sonucu oluşur.

Dalama, kumaş tüylü deri üzerine (örneğin kolun ön kısmı) hafifçe vurulunca veya bastırılınca hissedilir, tüysüz olan avuç içlerinde veya parmaklar üzerinde hissedilmez. Dalama, kumaş deri üzerine sürtülür veya silinirse, eğer deri rahatsız olacak şekilde soğuksa veya deri temas alanı ~1 cm²'den küçükse hissedilmez. Deri üzerindeki nem, dalama hissinin büyüklüğünü çokça arttırır [2].

Kızarma, acı sinirlerinin uyarılması neticesi meydana gelir. Sinir uçlarından salınan kimyasallar, yüzey kan kılcallarını genişletirler. Kızarma, ilk olarak harekete geçirilmiş acı-sinir uçlarının civarında ortaya çıkar ve geniş alanlar üzerine yayılır. Bu alerjik bir tepki değil, tahriş edici bir tepkidir. Kızarma hızlıca (deri teması ile bir saat içerisinde) veya daha yavaşça (birkaç saatten sonra) ortaya çıkabilir. Eğer birkaç günlük deri teması daha şiddetli bir reaksiyon oluşturmamışsa, kumaşın deriden uzaklaştırılmasından sonra genellikle hızlıca hafifler.

Kumaşın deri üzerindeki hareketi, dokunma grubu duyusal algılayıcıları harekete geçirir. Kumaş sertliği veya yüzey şekli hızlıca hissedilebilir. Deri kalkması meydana gelir. Kumaşın üzerinde hareket ettiği deri daha çok kalktıkça, kumaşın sertliğinin algılanması artar ve kumaş gittikçe artan hoş olmayan hisler yaratır.

Kumaş deriyle temas halinde olduğu zaman, onu hareket ettirmek için gereken kuvvete sürtünme kuvveti karşı koyar. Hareket, uygulanan kuvvet sürtünme direncine üstün çıkarsa oluşur.

Deri ile pürüzsüz yüzeyli kumaşlar arasında, deri ile pürüzlü yüzeyli kumaşlar arasındakinden daha az sürtünme vardır. Mesela, el de tutulduğunda veya giyildiğinde ince tel ipekli bir bluz, ipliksi ipekli bir bluza oranla daha pürüzsüz olarak nitelendirilir. Aynı şekilde, ince ve sık dokunmuş pamuklu çarşaf, muslin çarşaftan daha pürüzsüz olarak nitelendirilir.

Kumaş-deri ara yüzeyindeki nem kumaşın hissedilen sertliğinin derecesini değiştirir. Nem sürtünmeyi arttırır ve hareket eden kumaş altında daha fazla dokunma algılayıcısını tetikler. Düşük nemli ortamlarda dokunulduğu zaman konforlu olarak algılanan kumaşlar, nem oranı attıkça konforlu hissedilmeyebilir. Su buharına yeterli olarak geçirgen olmayan kumaşlar, su buharına geçirgenliği kabul edilebilir seviyelerdeki kumaşlara oranla giyilmesi daha rahatsız edici olarak nitelendirilir, çünkü kumaş-deri ara yüzündeki nem daha fazladır.

Kumaş, deri yüzeyi ile temas ettiği zaman geçici ılıklık veya serinlik hisleri oluşur. Hissedilen, kumaşın sıcaklığı ile ona dokunan veya onu giyen insanın deri sıcaklığı arasındaki görünür farktan kaynaklanır. Isı niteliğinin, kumaşın deri ile temasından sonra deriden kumaş yüzeyine olan hızlı ısı transferinin neticesinde oluştuğuna inanılır. Geçici ısı akışı, derinin dermis tabakasında (üst deri altındaki ince deri tabakası) bulunan termal algılayıcıları tetiklemeye yeter. Deri ve kumaş arasındaki temas alanı ısı akışının hızı açısından önemlidir. Temas alanı arttıkça, deriden ısı akışı da artar.

Üzerinde statik elektirik yükü kumaşlar vücutta rahatsızlık hissedilmesine yol açarlar. Yüklü kumaşları giyen kişide, metal bir nesneye (kapı tokmağı, evrak klasörü gibi) dokunduktan sonra yada halı kaplı zemin üzerinde yürüdükten veya sandalyeden kalktıktan sonra yada duvar veya mobilyalar ile temas ettikten sonra şoka yol açabilirler. Bu hafif sızlatıcı şok genellikle bir dert olarak sayılır. Eğer yüklü kumaşın neden olduğu bir elektrik kıvılcımı patlayıcı gazların bulunduğu bir odada oluşursa, bir patlama-daha tehlikeli bir sonuç-ortaya çıkabilir.

Kumaş yapışması, kumaşın üzerindeki elektrostatik yük ile bu yükün vücut üzerinde indüklemesi sonucunda oluşur. Normal kullanımda, giyilen giysilerin kumaş tabakaları giyen kişi otururken veya yürürken birbirlerine sürtünürler. Bu temas sırasında, artı yükler bir yüzeyde , eksi yükler diğer tarafta oluşur. Kumaşlar bir arada kaldığı sürece, yük oluşmaz. Fakat giyen kişi hareket eder veya sandalyeye oturduktan sonra ayağa kalkarsa, kumaşlar ayrılır ve doğalarına göre yüklenebilirler (Şekil. 2.5).

a) Yüklenme : Kişi sandalyeden kalkınca, kıyafet kumaşının döşeme kumaşından ayrılması iki kumaş üzerinde elektrik yükü oluşturur. Şekilde, kıyafet kumaşı artı ile, döşeme kumaşı ise eksi ile yüklenmiştir.

b) İndükleme : Kıyafet üzerindeki yük vücutta yük indükler. Şekilde, elektronlar kumaştaki artı yüklerin yoğunluğuna çekilmişler ve deri üzerinden bacağın arka tarafına iletilmişlerdir. Sonuç kıyafet yapışmasıdır.

Şekil 2.5. Kumaşın yüklenmesi ve yükün indüklenmesi[2]

Yüklü kumaşın oluşturduğu elektriksel alan deri üzerinde zıt bir yük indükleyebilir, böylece kumaş yapışması ortaya çıkar. Kıyafet yapışma derecesi, yan yana giyilen kumaşların tipine ve hem kumaşın yüküne hem de birim alandaki kumaş ağırlığına göre değişir. Kumaşın üzerindeki elektrostatik kuvvetler, onun aşağıya doğru sarkmasına sebep olan yerçekimsel kuvvetlerden büyükse, yapışır. Çevredeki nem de önemli bir faktördür. Çoğu tekstil yüzeylerinin elektriksel iletkenliği, kumaşın bulunduğu atmosferin nem içeriği arttıkça artar.

BÖLÜM 3. TERMOFİZYOLOJİ VE TERMAL KONFOR

Giysi sistemi içerisindeki bir kumaşın veya tekstilin temel fonksiyonu, her tür çevre koşulu ve her fiziksel aktivite seviyesi için, vücudun kendisini termal dengeye, beden ve ten sıcaklığına veya terlemeye bağlı olarak kabul edilebilir fizyolojik bir konumda koruyabilmesini sağlamaktır.

Bu bölümde giysi sisteminin bu korumayı nasıl sağladığını açıklamadan önce normal vücut sıcaklığından, bedende ısı üretiminden ve bedenin kendisini termoregülasyon sistemi ile nasıl dengeye getirdiğini açıklamak faydalı olacaktır. Çünkü giysi, tüm bu faaliyetlerin sonuçları ve nedenleriyle birebir etkileşimiçindedir.

3.1 Termofizyoloji

İnsan vücudu otomatik sıcaklık düzenleme işlevi olan bir organizmadır. Vücut, metabolizmanın besin ve kas hareketi ile daimi olarak ısı, karbon dioksit ve su üretir. İnsan vücudu ısının. yayılma hızını, kan damarlarının genişlemesi ve daralması, kas ve ter bezlerinin çalışması ile düzenleyerek, vücut sıcaklığını sabit tutar.

3.1.1. Normal Vücut Sıcaklıkları

İnsan vücudunun beden sıcaklığı ve deri sıcaklığı birbirinden farklıdır. Normal vücut sıcaklığı ortalama olarak ağızdan ölçümde 36,6°C ile 37°C arası kabul edilir. Bu normal kabul edilen sıcaklık değer aralığına göre, insanlar yaklaşık olarak iç vücut sıcaklılarını 37° C'ye (98.6° F) yakın tutmak zorundadırlar. Bu "temel" sıcaklık değerinde yaklaşık 5°C'lik (9° F) bir artış ya da azalış genellikle ölümcüldür.

Beden, besin metabolizması ve kas aktivitesi nedeniyle sürekli ısı üretir ve bu ısıyı çevreye verir. Isı üretimi ve kaybı arasında bir dengenin korunması gerekir. Dış sıcaklık 29°C (84°F) olduğunda, dinlenme halindeki kıyafetsiz bir insanın ısı üretimi ve kaybı dengededir.

Kıyafetsiz bir insanın çevrede hayatta kalabileceği sıcaklık aralığı oldukça küçüktür. Vücut sıcaklığının 36.5°C'ye göre 1.5°C'lik artışı yada düşüşü hayati tehlike yaratabilir. 29° C biraz daha soğuk çevreler, besinin tüketilmesi ve metabolizması ile ve daha güçlü fiziksel aktivite aracılığı ile üretilen beden sıcaklığının arttırılması ile tolere edilebilir. Öte yandan vücut daha fazla soğuğa maruz kaldığı zaman vücut sıcaklığı çoğu kez 35.6°C'den daha aşağı değerlere düşebilir. Bu durumda beden daha radikal bir karar alır ve hayatta kalması için gerekli olmayan bacaklar ve kollar gibi organlara giden kan miktarını sınırlar. Eğer net bir ısı kaybı meydana gelirse vücut iç sıcaklığının 35°C'nin altına düşmesi ile hipotermi meydana gelebilir. Vücut sıcaklığı, egzersizle ve aşırı çevre ısısı ile daha fazla değişir, çünkü sıcaklık regülasyon mekanizmaları yüzde yüz mükemmel değildir. Ağır egzersizde vücutta aşırı miktarda ısı oluştuğu zaman vücut sıcaklığı geçici olarak 39.3°C ile 40°C'a kadar yükselebilir ve vücut fazla ısıyı uzaklaştıramadığında hipertermi oluşur [2, 14, 15].

Fizyolojik olarak insan, deri sıcaklığı 33°C-35°C arasında olduğunda ve deri üzerinde terlemeye bağlı bir ıslanma söz konusu olmadığında kendini rahat ve konforlu hisseder. Ten sıcaklığı 33.4°C olduğunda rahatlık hissinin en fazla olduğu bilinmektedir. Vücudun herhangi bir kısmındaki ten sıcaklığı, bu ideal sıcaklıktan 1.5°C - 3.0°C kadarlık bir aralıkta farklılaşma gösterdiğinde, rahatlık hissi devam eder. Eğer fark ±4.5°C'den fazla olursa, insan vücudu rahatsızlık hisseder [14].

Sabit bir vücut sıcaklığı sağlamak amacıyla insanlar vücutlarını bir tekstil malzemesi veya uygun bir dış tabakayla koruma altına alırlar. Bu sıcaklık yaklaşık olarak gövde için 34-36.5 °C, eller ve ayaklar için 25.5-27.5 °C, kollar ve bacaklar için 27-30 °C olarak ifade edilebilir.

Vücutta üretilen ısı oranı kaybedilen ısı oranından daha fazla olduğu zaman, vücutta ısı birikir ve vücut sıcaklığı yükselir. Aksine, kaybedilen ısı miktarı daha fazla olduğu zaman sıcaklığı düşer. Vücut sıcaklığı, ısı kaybına karşı ısı üretiminin dengelenmesi ile elde edilir. Bundan dolayı, aşağıda ısı üretimi ve ısı kaybı arasındaki denge ve bunları kontrol eden mekanizmalara yer verilmiştir.

3.1.2. Isı Üretimi

Isı üretimi metabolizmanın başlıca yan ürünüdür. Vücudun metabolik hızı olarak da adlandırılan ısı üretim hızını belirleyen farklı faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Vücuttaki tüm hücrelerin bazal metabolizma hızları,
2. Kas aktivitesi ile metabolizma hızının artması (titremenin etkisi bu gruba girer),
3. Hormonların etkisi ile metabolizma hızının artması [15].

Pek çok temel kimyasal tepkime her an vücut ısı üretimine katkıda bulunur. İnsan vücudu daha çok yiyerek veya egzersizi arttırarak daha fazla ısı üretmeye çalışır. Yemeklerin sindirimi, besinlerin özgül dinamik etkisi dolayısıyla ısı üretimini artırır; fakat ısının en büyük kaynağı kasların kasılmalarıdır. Isı üretimi, gıda alımı veya kas egzersizinin olmadığı durumlarda endokrin mekanizmalar (hormonlar) ile değiştirilebilir [16].

Tablo 3.1. Değişik aktiviteler sırasındaki vücudun metabolik ısı üretimi [1]

Aktivite	Metabolik ısı (W/m^2)
Uyuma	40
Oturma	60
Ayakta durma	70
Yürüme (ortalama 1.35 m/s)	150
Büroda gezinme	100
Araba kullanma	60-115
Ev işleri	95-200
Atölye işi	105-235
Yük taşıma	235
Dans etmek	140-255
Tenis	210-270
Basketbol	290-440

3.1.3. Isı Kaybı

Vücutta üretilen ısının çoğu egzersiz esnasında organlarda, özellikle karaciğer, beyin, kalp ve kaslarda oluşur. Sonra bu ısı, organlar ve dokulardan deriye aktarılır. Bundan dolayı, ısının kaybedildiği hız, hemen hemen tamamen iki faktör ile saptanır. Bunlar:

(1) Isının vücut içinde üretildiği yerden deriye iletilebildiği hız ve (2) ısının deriden çevreye aktarılabildiği hızdır.

Deri, derialtı dokuları ve özellikle deri altı dokularındaki yağ, vücuttaki ısı yalıtkan sistemini oluştururlar. Yağ, ısıyı diğer dokulara göre üçte bir oranında daha az ilettiğinden önemlidir. Isınan iç organlardan deriye kan akımı olmadığı zaman, normal erkek vücudundaki yalıtkan sistemin etkinliği günlük giysilerin yaklaşık dörtte üçü kadardır. Kadında bu yalıtkanlık daha da iyidir. Deri, etkin kontrollü bir "ısı radyatör" sistemi olup deri kan akımı ısının vücudun içinden deriye transferinde en etkin mekanizmadır [15].

Tablo 3.2. Vücut ısı üretimi ve ısı kaybı [16]

Vücut ısısının üretim yolları	
Temel metabolik olaylar Besin alımı (özgül dinamik etki) Kas etkinliği.	
Vücut ısısının kayıp yolları	**21°C'deki ısı kaybının %si**
Işıma ve iletim Terin buharlaşması Solunum Ürinasyon ve defekasyon	70 27 2 1

İnsan vücudunun ısı kaybetme miktarı, kişinin o anda yaptığı fiziksel aktivitelere bağlıdır. 18-30 yaş arası 70 kg'lık normal genç bir insan için dinlenme ve uyuma sırasında saatte 60 kcal'lik bir enerji ve ısı kaybı söz konusudur. Sakin bir uğraş 100, hafif bir çalışma 250, ağır çalışma şartları ise 425 kcal/saat 'lik bir enerji kaybına neden olur [17].

Fizyolojik olarak vücuttan ısı kayıpları temelde, ışıma, iletim ve terin buharlaşması ile deri yüzeyinden ve solunum ile gerçekleşir.

Vücut sıcaklığı, insanların kendilerini rahat hissedebilmeleri için küçük bir aralıkta, aşırı sıcak ve soğuğun etkilerinden korunmak içinse biraz daha geniş bir aralıkta değişebilir. Bu nedenle vücut sıcaklığının istenen aralıkta kalması, vücuttan yayılan ısının dikkatli bir biçimde denetimini gerektirir. Vücutta üretilen ısı düzgün dağılmayıp, vücut yüzeyinden eşit bir biçimde de yayılmaz, fakat mühendislik

uygulamalarında vücudu, çevreye düzgün dağılımlı ısı yayan bir silindir olarak ele almak mümkündür.

İnsan vücudunun ısıl dengesi, çevre ile ısıl etkileşimleri ifade eden yarı kuramsal yarı ampirik bir yaklaşımı içerir. Değişik duyulur ve gizli ısı geçiş mekanizmalarını ifade etmek için temel ısı geçiş denklemleri, ısı geçişini etkileyen katsayıların belirlenmesi içinse deneysel bağıntılar kullanılır.

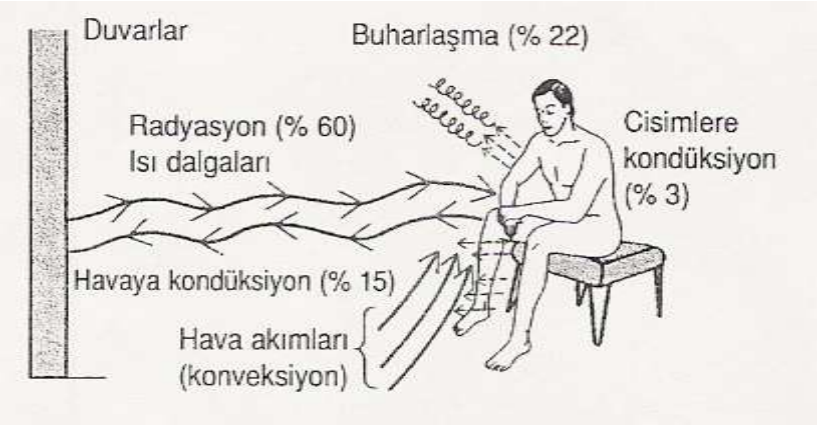
Vücuttan yakın çevreye olan ısı geçişi değişik yollarla olabilir:

- Deriden duyulur ısı geçişi,
- Terin buharlaşması ve deriden difüzyon sonucu geçen nemin buharlaşması ile olan gizli ısı geçişi,
- Solunum sırasında gerçekleşen duyulur ısı geçişi,
- Solunum sonucu dışarı verilen nemin buharlaşması ile olan gizli ısı geçişi [1].

3.1.3.1. Deri Yüzeyinden Isı Kaybı

İletim nesnelerin yüzeyleri arasında gerçekleştiğinden vücudun ısı kayıp veya kazanımının derecesi büyük ölçüde derinin sıcaklığı tarafından belirlenir. Derin dokulardan deriye ulaşan ısı miktarı, deriye olan kan akımı ile değiştirilebilir. Isının derin doklardan deriye iletilme hızına doku iletkenliği denir [16].

Vücuttan deri yüzeyinden ısı kaybını sağlayan çeşitli yöntemler Şekil 3.1 de görülmektedir. Bunlar arasında radyasyon (ışıma), kondüksiyon (iletim) ve buharlaşma yer alır.



Şekil 3.1 Vücuttan ısı kayıp mekanizmaları. [15]

Işınım (Radyasyon): Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, normal oda sıcaklığında çıplak bir kişide toplam ısı kaybının yüzde 60'ı radyasyon yolu ile olur. Işınımla ısı kaybı, infrared ısı ışınlarıyla yani bir çeşit elektromanyetik dalga yoluile olur. Mutlak sıfır sıcaklığında olmayan bütün cisimler bu tip ışınlar yayarlar. İnsan vücudu, ısıyı bütün doğrultulara yayar. Duvarlar ve öteki cisimlerden de vücuda doğru ısı ışınları yayılır. Eğer vücut ısısı çevre ısısından daha yüksekse, vücuttan yayılan ısı miktarı, vücuda yayılandan daha büyüktür [15].

İletim (Kondüksiyon): Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi, vücut yüzeyinden iskemle, yatak gibi öteki cisimlere direkt olarak iletim yoluyla kaybedilen ısı miktarı azdır. Diğer taraftan ısının havaya iletim yoluyla kaybı (yaklaşık %15), vücuttan ısı kaybının önemli bir bölümünü oluşturur. Anımsanacağı gibi, ısı aslında moleküler hareketin kinetik enerjisidir ve deri molekülleri sürekli titreşim hareketleri yaparlar. Eğer hava daha soğuksa, bu hareket enerjisinin çoğu havaya transfer edilebilir ve bu yolla hava moleküllerinin hareket hızını artırır. Deriye hemen komşu bölgedeki havanın ısısı derininkine eşit olduğunda, havadan vücuda iletilen ısı miktarı eşit olacağından daha fazla ısı kaybı olmaz. Bu nedenle, vücuttan havaya ısının iletisi kendi kendini kısıtlayan bir olaydır.

Taşınım (Konveksiyon): Ancak ısınan hava deriden uzaklaştırılıp yeni, ısıtılmayan hava akımının teması ile ısı kaybedilebilir. Bu olaya taşınım (konveksiyon) adı verilir.

Isının vücuttan hava akımıyla kaybına konveksiyonla ısı kaybı denir. Gerçekten de, önce ısının havaya iletisi sonra da hava akımı ile uzaklaştırılması gerekir.

Deriye komşu olan hava ısındığı zaman yükseleceğinden, vücudun etrafında daima küçük miktarda konveksiyon bulunur. Bu nedenle, konforlu bir odada çıplak olarak oturan bir kişi büyük bir hava hareketi bulunmasa bile vücudundaki ısıyı iletimle havaya verir. Daha sonra taşınımla vücuttan uzaklaştırılan ısının, toplam ısı kaybı içindeki oranı %15 kadardır [15].

Rüzgarın serinletici etkisini şu şekilde açıklanabilir: Vücut rüzgara maruz kaldığı zaman, deriye hemen komşu olan hava tabakası normalden çok daha hızlı olarak yenilenir ve konveksiyonla ısı kaybı da artar. Düşük hızdaki rüzgarın serinletici

etkisi yaklaşık rüzgar hızının kare köküyle orantılıdır. Örneğin saatte 4 mil hızla esen bir rüzgar saatte 1 mil hızla esenden iki kat daha etkilidir [15].

Suda bulunan bir kişide taşınım ve iletim ile ısı kaybı ise şu şekilde gerçekleşmektedir: Su havanın bir kaç bin katı özgül ısıya sahiptir. Bu nedenle deriye komşu suyun birim miktarı, havadan çok daha fazla miktarda ısıyı absorbe edebilir. Aynı şekilde suyun ısıyı iletkenliği de havaya göre 27 kat daha fazladır [7]. Sonuç olarak, vücuda yakın ince bir su tabakasını havada olduğu gibi bir "yalıtkan bölge" oluşturmak üzere ısıtma olanağı yoktur. Bu nedenle, orta dereceden düşük bir sıcaklıkta suya verilen ısı, aynı sıcaklıktaki havaya verilenin bir çok katıdır. Su ve hava aşırı soğuksa, havaya ısı kaybının hızı hemen hemen sudaki kadar fazla olur. Çünkü su ve havanın her ikisi de derialtı yalıtkan tabakadan difüzyona uğrayabilen tümısıyı uzaklaştırabilir [15].

Deri yüzeyinden duyulur ısı kaybı, giysilerden geçerek çevre ortama olur. Bu yol seri bir devre olarak düşünülebilir. Deri yüzeyi ile giysi dış yüzeyi arasındaki giysi yalıtımı ile giysi dış yüzeyi ile çevre arasındaki direnç ısı kaybını etkiler.

Giyinik bir vücuttan, taşınım ve ışınım ile olan ısı kayıpları, birleşik ısı geçiş katsayısı ve giyinik vücudun ortalama dış sıcaklığı (t_{cl}) ile çevre sıcaklığı (t_a) arasındaki farkın çarpımı olarak hesaplanır [1].

- Taşınım ile ısı kaybı (W/m^2) → $C = f_{cl} . h_c (t_{cl} - t_a)$ (3.1)
- Işınım ile ısı kaybı (W/m^2) → $R = f_{cl} . h_r (t_{cl} - t_a)$ (3.2)

h_c = taşınım katsayısı, ($W/m^2 K$)
h_r = doğrusal ışınım ile ısı geçiş katsayısı, ($W/m^2 K$)
f_{cl} = giysi alan çarpanı = (A_{cl}/A_D)
A_{cl} = kıyafet yüzey alanı, (m^2)
A_d = insan yüzey alanı, (m^2)

Buharlaşma: Vücuttan suyun buharlaşması sırasında buharlaşan suyun gramı başına 0.58 kalori ısı kaybedilir. Kişi terlemediği zaman bile, deri ve akciğerlerden fark edilmeden yaklaşık 450 - 600 ml/gün oranında su buharlaşır. Bu sürekli olarak saatte 12 - 16 kalori ısı kaybına neden olur. Su moleküllerinin, deri ve solunum yüzeyleri yoluyla sürekli difüzyonundan kaynaklandığı için deri ve akciğerlerden

hissedilmeyen bu buharlaşma ısı regülasyonu amacıyla kontrol edilemez. Ancak, deri yüzeyinden terin buharlaşmasıyla ısının kaybı, terleme hızının düzenlenmesiyle denetlenebilir [15].

Deriden buharlaşma yoluyla ısı kaybı (E_{sk}), deri yüzeyi ile ortamarasındaki su buharı basıncı farkına ve deri üzerindeki nem miktarına bağlıdır [1].

$$E_{sk}\ (W/m^2) = [w(p_{sk,s}-p_a)] / [R_{e,cl} + 1/(f_{cl}h_e)] \qquad (3.3)$$

w = deri ıslaklığı
p_a = çevre havanın su buharı basıncı, (kPa)
$p_{sk,s}$ = deri üzerindeki su buharı basıncı, (kPa)
$R_{e,cl}$ = giysi tabakasının buharlaşma ile ısı geçişine direnci, (m^2 kPa/ W)
h_e = buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı, (W/m^2 kPa)

Deri sıcaklığı çevre sıcaklığından yüksek olduğu sürece, ısı radyasyon ve iletimile kaybedilir. Ancak, çevre sıcaklığı deriden daha yüksek olduğu zaman, radyasyon ve iletimile ısı kaybedilemez, fakat kazanılır. Bu koşullarda, vücudun fazla ısıdan kurtulması için tek yol buharlaşmadır. Bu nedenle, ortam sıcaklığı, deri sıcaklığından yüksek olduğu zaman, buharlaşmayı engelleyen herhangi bir faktör vücut sıcaklığının yükselmesine yol açar. Bu durum, nadiren ter bezlerinden yoksun dünyaya gelen kişilerde görülür [15].

Giyinmenin iletimile ısı kaybı üzerine etkisi önemlidir. Derinin üzerindeki giysilerin kıvrımları arasında tutulan hava, deriye komşu özel bölge adı verilen hava tabakasının kalınlığını artırır. Böylece vücuttan iletim ve taşınımile ısı kaybının hızı çok azalır.

Deriden giysilere geçen ısının yaklaşık olarak yarısı aradaki küçük mesafeden iletim ile değil, radyasyonla geçer. Bu nedenle, vücuttan ısı kaybını azaltmak için, giysilerin içini ince bir altın tabakasıyla kaplamak elbiselerin yalıtkanlığını etkin biçimde artırır. Bu teknik yardımıyla kutup giysilerinin ağırlığını yarı yarıya azaltma olanağı vardır.

Elbiseler ıslandıkları zaman vücut ısısını devam ettirmedeki etkinlikleri hemen hemen tamamen kaybolur. Çünkü, suyun yüksek iletkenliği ısı kaybını 20 kattan daha fazla artırır. Bu nedenle, kutuplarda vücudu soğuğa karşı koruma yönünden

elbiselerin ıslanmamasına dikkat etmek büyük önem taşır. Gerçekten de, vücudun geçici de olsa aşırı şekilde ısınmaması gerekir, çünkü terleme ile ıslanan giysilerin yalıtkanlık nitelikleri çok azalır.

3.1.3.2. Solunumİle Isı Kaybı

Solunum sırasında, solunan havaya taşınım ve buharlaşma yolu ile önemli miktarlarda duyulur ve gizli ısı geçişi olur. Çünkü hava, çevre koşullarında solunur ve neredeyse çevre sıcaklığında veya çok az altında bir sıcaklıkta doymuş olarak dışarı atılır.

Solunumla ilişkili duyulur ve gizli ısı kayıpları aşağıdaki bağıntılarla verilebilir [1]:

- Duyulur ısı kaybı (W/m^2) $\rightarrow$ $C_{res} = \dot{m}_{es}\, c_{pa}\, (t_{ex}-t_a) / A_D$ (3.4)
- Gizli ısı kaybı (W/m^2) $\rightarrow$ $E_{res} = \dot{m}_{es}\, h_{fg}\, (W_{ex} - W_a) / A_D$ (3.5)

$\dot{m}_{es}$ = solunan hava debisi, (kg/s)
W_{ex} = dışarı atılan havanın özgül nemi, [kg(su)/kg(kuru hava)]
W_a = solunan havanın özgül nemi
t_{ex} = dışarı atılan havanın sıcaklığı, (°C)
c_{pa} = havanın özgül ısısı, (kJ/kg K)

3.1.4. Vücut Sıcaklığını Düzenleyen Mekanizmalar

Vücudun refleks ve yarı refleks termoregülasyon yanıtları Tablo 3.3'de gösterilmiştir. Bunlardan bir grup ısı kaybını artırıp, ısı üretimini azaltırken; diğerleri ısı kaybını azaltır, ısı üretimini artırır. Genel olarak, ısıya maruz kalma birinci grup yanıtı uyarır, ikinci grubu inhibe ederken; soğuğa maruz kalma tam tersine neden olur.

İnsan bedeni, beden tarafından üretilen ısının kaybedilme hızını deride bulunan kılcal damarları daraltarak ayarlamaktadır; böylece, iç vücut sıcaklığını taşıyan kan deride eskisi kadar hızlı dolaşmaz. Deri üşüdüğü zaman, birçok yoldan sıcaklığı yükseltecek refleksler başlatılır:

(1) Kuvvetli bir uyarı ile titreme başlar ve vücutta ısı oluşum hızı çoğaltılır,
(2) eğer varsa terleme inhibe edilir ve
(3) deride vazokonstriksiyonla ısının deriye transferi azaltılır [15].

Tablo 3.3. Sıcaklık düzenleyici mekanizmalar [16]

Soğukla etkinleşen mekanizmalar	
Isı üretiminin artırılması	Isı kaybının azaltılması
- Titreme - Açlık -İstemli etkinliklerde artış - Adrenalin ve noradrenalin salgılanmasında artış	- Deride vazokonstriksiyon - Kıvrılıp büzülme - Kılların dikleşmesi
Isıyla etkinleşen mekanizmalar	
Isı kaybında artış	Isı üretiminde artış
- Deride vazodilatasyon - Terleme - Solunumda artış	- Anoreksi - Apati ve hareketsizlik

3.1.4.1. Vücut Çok Sıcak Olduğunda Sıcaklık Azaltan Mekanizmalar

Sıcak bir çevrede olan kıyafetsiz bir beden kendisini soğutma problemiyle karşı karşıyadır. Hem beden tarafından üretilen ısıyı hem de derinin çevreden soğurduğu ısıyı kaybetmesi gerekir.

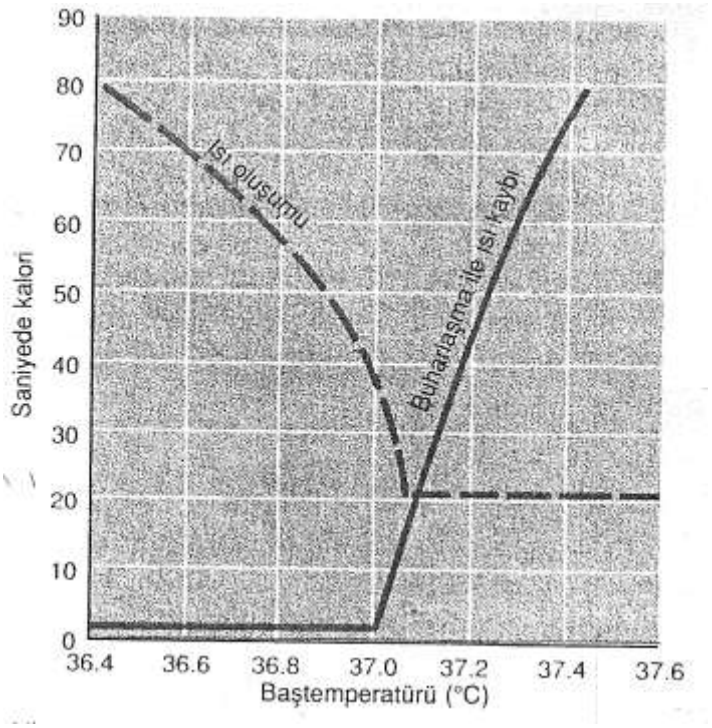
Isı kontrol sistemi, vücut sıcaklığı çok yükseldiği zaman vücut sıcaklığını düşürmek için üç önemli mekanizmadan yararlanır:

1. Vazodilatasyon: Vücudun hemen tüm alanlarında deride kan damarları çok genişler. Tam bir vazodilatasyon deriye sıcaklık transfer hızını sekiz kat kadar artırabilir.

2. Terleme: Vücudun içinden derinin yüzeyine doğru difüzyona uğrayan suyun buharlaşma hızı artar ve daha iyi bir soğutma meydana gelir. Dış sıcaklık arttıkça vücut ter bezlerini harekete geçirir ve daha iyi bir soğuma için sıvı su (ter ya da hissedilir terleme) buharlaştırılır. Yükselen sıcaklığın terlemeyi artırıcı etkisi Şekil 3.2'de düz çizgi ile gösterilmiştir. Vücudun iç sıcaklığı 37 °C derecedeki kritik sıcaklık düzeyinin üstüne çıktığı zaman terin buharlaşmasıyla ısı kaybının hızında dik bir yükselme görülmektedir. Bundan sonra vücut sıcaklığındaki her 1 °C'lik

yükselme, vücuttaki bazal ısı oluşum hızının on katını uzaklaştırmaya yeterli bir terlemeye yol açmaktadır.

3. Isı oluşumunun azalması. Fazla ısı oluşturan titreme ve kimyasal termogenez gibi mekanizmalar kuvvetle inhibe edilirler [15].



Şekil 3.2. Hipotalamus sıcaklığının (1) vücuttan buharlaşma ile ısı kaybı ve (2) kas aktivitesi ve titreme ile ısı oluşumu üzerine etkisi.

Şekil 3.2'de ısı oluşumunun duraklayarak ısı kaybının başladığı son kritik sıcaklık gösterilmiştir [15].

3.1.4.2. Vücut Çok Soğuk Olduğunda Sıcaklığı Artıran Mekanizmalar

Vücut çok soğuduğu zaman ısı kontrol sistemi tamamen ters işlemleri yürütür. Bunlar şöyle sıralanabilir:

1. Bütün vücutta derideki vazokonstriksiyon: Vazokonstriksiyon ile derideki kılcal kan damarları daraltılarak, kanın eskisi kadar hızlı hareket etmesi engellenir ve böylece ısı kaybı azaltılır.

2. Piloereksiyon: Piloereksiyon tüylerin "dikleşmesi" anlamına gelir. Sempatik uyarma tüyleri dikleştirir. Bu işlem insanda önemli olmamakla beraber, hayvanlarda

tüylerin dikleşerek aralarında deriye yakın kalın bir "yalıtkan hava' tabakasını tutmaları çevreye ısı transferini büyük ölçüde azaltır.

3. Isı oluşumunun artması: Metabolik sistemlerle ısı oluşumu aşağıdaki üç yöntemle artırılır: titrme, fiziksel aktivite, besin alımı.

3.2. Termal Konfor

Konforun şahsa bağlı sübjektif bir kavram olduğu ve konforun varlığının ve devamının sağlanması belli seviyede fiziksel, fizyolojik ve psikolojik faktörlerin ortak payda da toplanmasıyla mümkün olacağı üzerinde Bölüm 2'de ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştı. Vücutta uygun termal dengeyi sağlama amacı, giysi konforu için en önemli faktördür. Bu nedenle elbiselerin giyildikleri bedenin ısısının belli bir seviyede tutulması konusunda nasıl bir etkiye sahip oldukları göz önünde bulundurulmalıdır.

Giyimde ana konfor sağlama mekanizması olarak görülen şey, insan ve içinde bulunduğu çevre arasındaki ısı transferi ve bununla beraber belli bir ısı transferi sağlayan nem hareketleridir.

Bir insanı farklı iklim koşullarında koruyabilmek, metabolizmanın yaydığı ısı, çevrenin sıcaklık, nem ve rüzgar etkisi ile giysinin ısıl yalıtım, hava geçirgenliği ve su buharı taşıma kapasitesine bağlıdır. Vücut sıcaklığını konfor aralığında tutabilmek için, klasik yaklaşım, ortam sıcaklığına bağlı olarak giysi katı arttırmak veya azaltmaktır. Oysa giysi, çevre sıcaklığına göre ısıl direncini otomatik olarak değiştirebilirse, vücudun çevre ile ısı alış veriş hızını kontrol edebilir ve vücut sıcaklığını koruyabilir. Böylece sık sık giyinmek veya soyunmak gereksinimi ortadan kalkar; vücut konforu artar ve yaşamsal riskler azalır.

İdeal bir giysilik kumaş, termal konfor bakımından, üç özelliğe sahip olmalıdır:

1. Soğuktan korunmak için yüksek ısıl direnç;
2. Ilıman iklim koşullarında etkili ısı transferi için su buharı direncinin düşük olması;
3. Yüksek sıcaklık koşularında ısı transferini sağlayabilmek ve terleme nedeniyle hissedilen rahatsızlık verici tutum hissini yok etmek için sıvı taşıma özelliğinin yüksek olması [14].

Vücutta gerçekleşen metabolik olaylar (biyokimyasal parçalanmalar, ürperme benzeri kas titreşimleri, fiziksel aktivite, vb.) yoluyla üretilen ısı, taşınma, iletim veya yayılma yoluyla kaybedilir. Vücuttan gerçekleşen ısı kaybı tamamıyla çevre ve insan derisi arasındaki sıcaklık gradyanı ile ilgilidir. Vücudun kendi ayarlama fonksiyonunun yanı sıra giysinin fonksiyonu da bu kaybı en aza indirmektir. Vücut sıvısındaki kontrolsüz buharlaşma aşırı ısı kaybına neden olabilir. Bu gibi durumlarda herhangi bir düzenleme fonksiyonu olmayan kıyafetler rahatsız edici olurlar. Diğer yandan ısı kaybı, çevre ve insan vücudu arasında bir tampon görevi gören giysinin termal direncini artırıcı uygulamalarla azaltılabilir; ancak salt termal direnci arttıracak uygulamalar kıyafetin geçirgenlik özelliklerini azaltması halinde tekrar rahatsız edici bir yapı arz eder.

Çevre sıcaklığı deri sıcaklığının belirlenmesindeki baskın faktördür. Çevre sıcaklığı düşük bir değerde olduğunda ısı düzenleme işlevinde giysi başrolü oynar. Çünkü bu şartlar altında deri ısıyı düzenleme kabiliyetini kaybetmiştir. Ancak bunun yanı sıra sıcak ortamlarda da kıyafetlerin bir takım işlevleri yerine getirmesi gerekir. Giysinin vücuttan çevreye gerçekleşen ısı kaybına karşı göstereceği direnç üç ayrı faktörün etkilerinin bir sonucudur. Bu faktörler şunlardır:

- giysinin yüzeyinden gerçekleşecek ısı transferine karşı göstereceği direnç,
- giyside kullanılan malzemenin termal direnci,
- durgun havanın kendi iç direnci [3].

Bir elbisenin içinden gerçekleşen ısı transferinin birçok faktörden etkilenen karmaşık bir fenomen olduğu açıktır. Normal kıyafetlerde öne çıkan üç ana faktörün kalınlık, çevrelenmiş hareketsiz hava (hapsedilmiş hava) ve çevrede gerçekleşen hava hareketleri olduğu söylenebilir. Giysilerin aşırı sıcak ve aşırı soğuk ortam şartlarında koruma görevini yerine getirirken en önemli yapısal parametreleri, lif tipi ve karışım oranları, iplik sıklıkları ve dokusudur. Bu özelliklere ilave olarak, diğer bazı tasarım parametreleri de şartlara bağlı olarak önem kazanır.

US Army Research Institute of Environmental Medicine, sıcaklık ve rüzgar üşütmesinin insan vücudu üzerindeki etkilerini araştırmışlar, Tablo 3.4'te gösterildiği üzere 2-32 m/s arasındaki rüzgar hızlarında, sıcak ve serin hissetme ile ilgili yukarıdaki sınıflandırmayı yapmışlardır [14].

Tablo 3.4 İnsan vücudu üzerinde sıcaklık etkisi[14]

Ortam Sıcaklığı	Hissedilen Sıcaklık Etki
32 ^{0}C	Sıcak
28 ^{0}C	Uygun
22 ^{0}C	Serin
16 ^{0}C	Oldukça serin
10 ^{0}C	Soğuk
5 ^{0}C	Çok soğuk
0 ^{0}C	Dondurucu
-5 ^{0}C	Donma tehlikesi
-24 ^{0}C	1 dakikada yüzde buzlanma ve donma
-32 ^{0}C	0.5 dakikada yüzde buzlanma ve donma

Bu ortam sıcaklıklarında olan bir insanın vücudundaki tepkimelerde etkili olacak faktörler; metabolik sıcaklık, rüzgar hızı, termal yalıtım, hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği şeklinde belirtilmiştir.

Tüm bu bilgilerin ışığı altında insanın giyim konforu sağlayan ana etken olan termal konfor üzerine etkili olan mekanizmaları ve faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Isı transferi
- Termal yalıtım ve tekstillerin termal özellikleri
- Su buharı geçişi
- Su geçirgenliği
- Hava geçirgenliği
- Rüzgar hızı
- Metabolik ısı

3.2.1. Tekstillerin Isı Transfer Mekanizması

Isı, herhangi bir sıcaklık farkının olduğu her yerde bir şekilde her zaman transfer edilir. Tıpkı suyun bir yamaçtan akması gibi ısı da eğer kendi haline bırakılırsa, her zaman olası en düşük seviyeye doğru akarak ve daha sıcak nesneler yerine soğuk olanları ısıtarak sıcaklık yamacından aşağıya doğru akar. Bir kumaşın içinden akan ısıyı düşündüğümüzde, çevrenin mi bedenin mi sıcaklığının daha yüksek olduğunu göz önünde bulundurmamız gerekir; çünkü bu ısının akışının yönünü belirleyecektir.

Soğuk bir çevrede ısı bedenden çevreye doğru akacaktır. Sıcak bir çevrede ise ısı bedene bir sıcaklık yükü yükleyecektir.

Isının akış hızı, sıcaklık yamacının dikliğine ve ısının akmak zorunda olduğu materyalin özelliklerine bağlıdır. Birim uzaklık başına sıcaklıktaki fark, sıcaklık gradienti olarak adlandırılır [2].

Bir ortamda yada ortamlar arasında daha sıcak nesnelerden daha soğuk nesnelere doğru bir sıcaklık farkı nedeniyle gerçekleşen enerji nakline ısı transferi (geçişi) denilmektedir. Isı geçişi olayı, gerçekleştiği fiziksel duruma göre farklı mekanizma yada modlarla incelenir. Bu mekanizmalar: iletim, taşınım ve ışınımdır.

İletim Bir katı ya da durgun akışkan ortamında bir sıcaklık gradyanı mevcut ise bu ortamdaki ısı geçişini kullanmak için iletim (kondüksiyon) terimi kullanılır. Isının iletim yoluyla akışı ancak, tıpkı liflerde, metallerde, suda, tahtada ve havada olduğu gibi, durağan bir maddedeki komşu moleküller birbirleriyle çarpıştığı zaman meydana gelir.

Taşınım Bir yüzey ve hareketli bir akışkan arasında sıcaklık gradyanı söz konusu ise bu iki ortam arasındaki ısı geçişi modunu tanımlamak için taşınım (konveksiyon) terimi kullanılır. Isının bir yerden diğerine sıcak materyalin gerçek hareketi ile transfer edilmesidir. Konveksiyonla ısı transferi gazlar (örneğin hava) ya da sıvılar (örneğin su) ile gerçekleştirilebilir. Soğuk hava ısınmış bir yüzeyle karşılaştığında, çevresindeki havadan daha hafif hale gelerek hacmi genişler; yükselir ve soğutucu hava akımını sıcak yüzeyin üzerine çeker. Bir odadaki hava konveksiyon yoluyla ısıtılır. Kaloriferin yanındaki hava ısınır; tavana doğru hareket eder; orada soğur ve daha sonra tekrar ısınmak üzere aşağıya doğru hareket eder.

Işınım Sonlu sıcaklıktaki bütün yüzeyler elektromanyetik dalga formunda enerji yayarlar. Bu nedenle farklı sıcaklıklarda bulunan ve birbirini aralarında engelleyici bir ortam olmadan gören iki yüzey arasında ışınımla (radyasyonla) ısı transferi vardır. Işınım, ısının enerji dalgaları ile transferiyle ilgilidir. Işınım ile ısının kaybedilmesi maddesel bir ortam gerektirmez. Işınım sadece nesnelerin yüzeyinden meydana gelebilir. Nesneler, sıcaklıklarına bağlı olmak üzere sürekli belli bir karakter ve yoğunlukta yayılım gösterirler. Nesneler, yüzeylerine çarpan yayılım enerjisini soğurma, geçirme ve yansıtma özellikleri bakımından farklılıklar

gösterirler. Çok iyi ısı yayıcısı olan nesneler, yüzeylerine çarpan yayılım enerjisini soğurma konusunda da bir o kadar yeteneklidir. Güneş'in ısısı Dünya'ya yayılım yoluyla transfer edilir [2,13,18].

Temel ısı transferi kavramlarını tekstil yüzeyleri için incelersek; iletim hava ve elyafın içinden, radyasyon hem direkt olarak hem de elyaftan elyafa, taşınım ise yapının içindeki hava ile gerçekleşmektedir [13].

Giysinin içinde ısı transferi üç farklı biçimde meydana gelir.

i. İletim, taşınım ve ışınım yoluyla ısı transferi,
ii. Terlemeye bağlı su buharı transferi,
iii. Sıvı transferi.

Daha önceden de belirtildiği üzere bir tekstil malzemesinden toplam transfer edilen ısı miktarını saptamak zordur. Çünkü homojen opak (ışık geçirmeyen) bir katı malzemeden ısı akışı iletim yoluyla gerçekleşir ve net bir şekilde hesaplanır. Homojen olmayan malzemelerde ise ısı transferi sadece iletimle meydana gelmez. İletim mekanizmasının dışında diğer modlarında büyük etkisi vardır ve tekstil malzemesi homojen değildir. Tekstil yapısı, farklı ısıl iletkenliklerine sahip iki veya daha fazla malzemenin karışımından oluşmuştur. Bu karışım temelde hava ve elyaftır. Burada yaşanan problem sadece yapının opak olmaması değil, aynı zamanda elyaflar ve iplikler arasında gerçekleşen kızıl ötesi ışıma yoluyla da ısı transferinin de olmasıdır [13].

Bir kumaşın içinden ısı ve nem beraber aktığı zaman toplam transfer edilen ısı oranı, buharlaşan unsurun ve ısı için iletken unsurun toplamıdır diyebiliriz. Bu şartlar altında, toplam ısı transfer oranı (Q) bir iletilen bileşen (Qc) ve bir de buharlaşan bileşenden (Qe) oluşmaktadır. Buna göre;

$$Q = Qc + Qe \tag{3.6}$$

Vücut tarafından üretilen ısının, üretildiği oranda giysinin içine iletilmesinin mümkün olduğunun kabulü durumunda, koşullar sabit ise bu oran vücudun metabolik oranı olarak da sayılabilir [13].

Tekstil yapılarında gerçekleşen toplamısı transfer miktarı pek çok bilimadamının çalışmalarına konu olmuş ve farklı teoriler geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, ısı transfer proseslerinin yanında özellikle yapı içindeki hava tabakalarının ve rüzgarın etkilerine değinilmiştir. Bu etkiler hesaba katılarak giyinik olduğumuz süre boyunca elbiselerin ısı yalıtımözelliklerini hesaplayan metotlar geliştirilmiştir. Bu bağlamda vücuttan çevredeki havaya transfer edilen ısıya karşı olan termal direnç üç ayrı parametrenintoplamı ile belirlenir. Bu üç parametre: malzemenin yüzeyinden olan sı transferine karşı termal direnç, giyim malzemesinin termal direnci ve hava tabakalarının termal direncidir.

Buna göre, tekstil tabakaları içinden gerçekleşen toplamısı transferi şu şekildetarif edilebilir [13]:

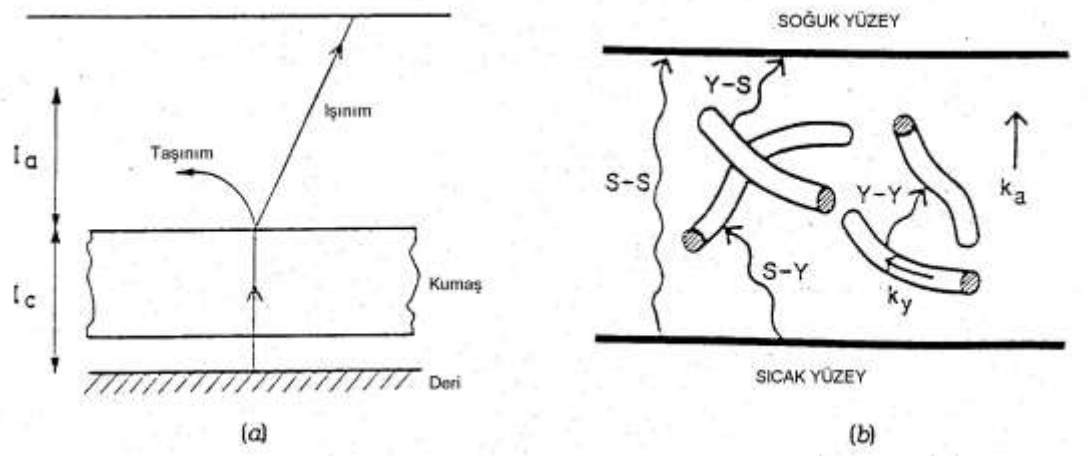
$$H = H_{r+c} + H_e = (\Delta T/I) + (\Delta P/E) \qquad (3.7)$$

H_r = Radyasyon ile olan ısı transferi
H_c = İletimle olan ısı transferi
H_e = Buhar yoluyla olan ısı transferi
ΔT = Tekstil tabakasının iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı
I = Termal yalıtım
ΔP = İki yüzey arasındaki kısmi su buharı basıncı içindeki fark
E = Su buharı geçirgenliği

Radyasyonla olan ısı akışı mutlak sıcaklığın dördüncü gücüne bağlıdır; oysailetimle olan ısı akışı sıcaklığın birinci gücü ile yönetilmektedir. Hesaplanan örneklerden göstermiştir ki bir hava tabakası içinden radyasyonla olan ısı akışı tabakanın kalınlığına bağlı değildir. Bununla birlikte iletimle ısı akışı kalınlığın azalmasıyla artış gösterir. Bir tekstil tabakasında ise kalınlık radyasyonu etkilenmez; fakat radyasyon ortalama soğurma miktarından ve ısı ışınlarının tekstil tabakası içinden geçerken tekrar yayılmasından çok etkilenir. Bir tekstilin içindeki ısı iletimi hem havanın ve elyafın ısıl iletkenliği hemde tabakanın kalınlığı tarafından kontrol edilir.

Bir başka çalışmada ise farklı bir yöne dikkat çekilmiştir ve deri yüzeyindeki bir nokta hesaba katılmıştır. Şekil. 3.3 (a) ve (b) de gösterildiği üzere, bu noktada ısının önce giysinin içinden sonra da iletim ve ışıma yoluyla çevreye geçişi incelenmiştir. Burada I_c giysinin termal yalıtımı, kumaşın yalıtımını, iç giysi ve deri ile kumaşlar

arasında sıkışan havanın yalıtımını içerir. Kıyafetin yüzeyinde ışınım yoluyla transfer edilen ısı transferi de ayrıca dikkate alınabilir. Atmosfer yalıtımı (I_a) çevreye gerçekleşen iletimin tersidir.



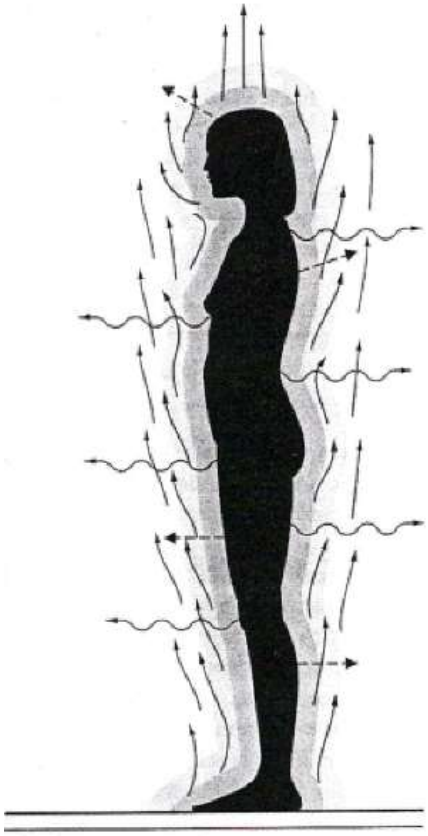
Şekil 3.3 (a) Giysinin içinden gerçekleşen ısı transfer mekanizması (b) Bir kumaşın içindeki ısı transfer modları: S-S yüzeyden yüzeye ışıma, S-Y yüzeyden ipliğe ışıma, Y-S iplikten yüzeye ışıma, Y-Y iplikten ipliğe ışıma, K_y iplik içindeki iletim, K_a hava içindeki iletim[13].

3.2.1.1. Kıyafetsiz Bir Bedenden Isı Transferi

Deri sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta olan bir çevrede kıyafetsiz bir beden, beden tarafından üretilen ısıyı çevreye verir. Yaklaşık %90'ı deri yüzeyinden yayılır (%80'i iletim, konveksiyon ve yayılım ile ve %10'u buharlaşma ile); diğer %10'u ise solunum ile kaybedilir.[2] Bir ısı yayıcısı olarak davranan deri yakın çevresindeki havayı iletim yolu ile ısıtır. Vücudumuz tarafından ısınan hava yoğunluğundan dolayı, yukarıya doğru hareket eder ve kıyafetsiz bedeni saran bir hava kılıfı oluşturarak yükselir. (Şekil 3.4) Eğer kişi ayakta bulunuyorsa ısınan hava vücudun bel, boyun ve baş bölgelerinden kaçar. Yatar pozisyonda olan bir kişiden ise daha çok miktarda hava kaybı olur [2].

Isı kaybı göz önüne alındığında vücudun iki kritik bölümü vardır. Diğer yerlere nazaran gövdeden ısı kaybını engellemek kolaydır, kollar ve bacaklardan ise zordur, en zoru ise yüz ve ellerdir. Radyasyon (ışınım), konveksiyon (iletim) ve buharlaşma yoluile örtülmemiş el ve yüzden daha da çok ısı kaybı olabilir. -15 °C (5 °F) soğuk havada dışarı çıkılması durumunda korunmamış baş bölgesinden vücudun ürettiği ısının yarısından fazlası kaybedilmektedir. Daha az soğuk ve hafif rüzgarlı bir

koşulda ise yine örtülmemiş baştan olan ısı kaybı vücut ısı üretiminin çeyreği kadardır [8].



Şekil 3.4. 25°C (77°F) deki bir çevrede kıyafetsiz bir bedenden ısı dağılımı [2]

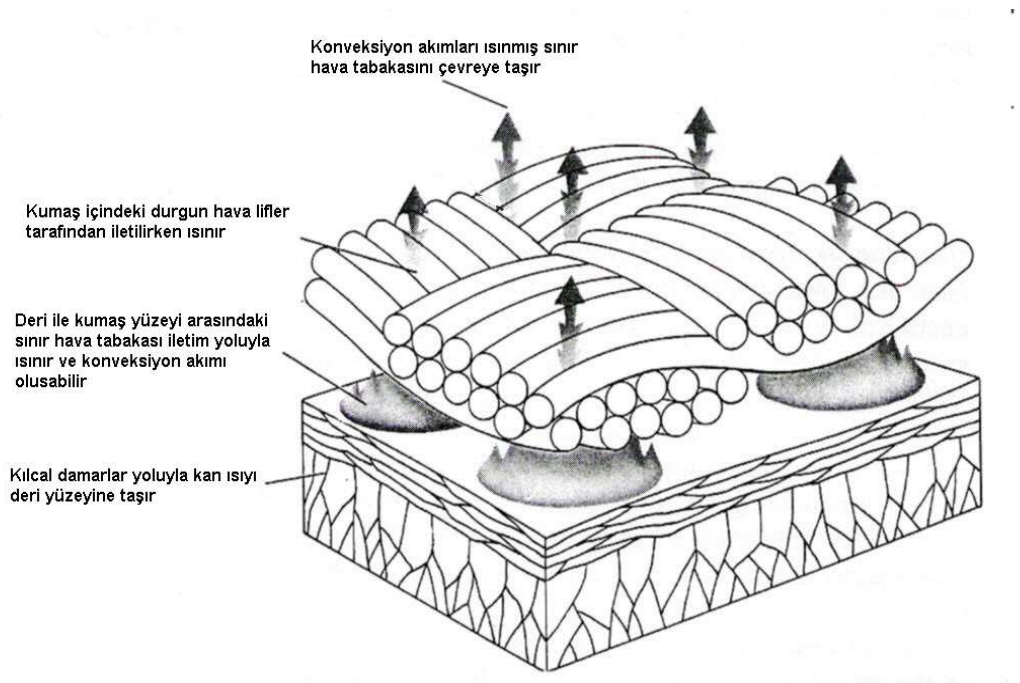
Havanın konveksiyonel yukarı akışı ayak bileklerinde ve bacakların aşağı kısımlarında incedir ve yavaş hareket eder; ne var ki bedenin üst kısımlarına doğru güçlenir ve yoğunluğu ve hızı süratle artar. Sıcak hava tabakası genel oda havasının içinde dağılmadan önce kafanın üstünde en az 1.5 metre yükselir [2].

Kapalı bir çevrede bulunan çıplak bir insan bedeni ısısının %60'ını yayılım yoluile kaybeder. Beden harika bir ısı yayıcısıdır. Bu yayılımı alan duvarlar ve yakın nesneler de ısı yayarlar ve bunun da bir kısmı insan bedeni tarafından alınır ve soğurulur. İnsan bedeninden daha soğuk bir çevrede, yayılı maracılığı ile bireyin fark edebileceği net bir ısı kaybı meydana gelir. Örneğin, hava sıcaklığının termik konfor bakımından yeterli bir seviyede olduğu yeni ısıtılmış bir odada termal bir rahatsızlık hissedilir; çünkü duvarlar ve mobilyalar hala soğuktur.

Kıyafetsiz bir insan, bedeninin ısısından daha fazla ısı yayan bir kaynağa maruz bırakıldığında, net bir termal stres (yük) tecrübe edilir. Ateşten, erimiş metalden, bir oda kaloriferinden ya da Güneş'ten yayılan ısı deri sıcaklığını arttırır ve termal stres yaratır. Her bir kaynak, deri tarafından kolayca soğurulabilen farklı dalga boylarında termal bir enerji yayar. Deri, geniş bir spektrum aralığında çok iyi bir enerji soğurucudur.

3.2.1.2 Kıyafetli Bir Bedenden Isı Transferi

Kıyafetli bir bedenden ısı transferinin çeşitleri kıyafetsiz olanla aynıdır (Şekil 3.5). Isı kaybı iki yolla olur, kısmen deri yüzeyi ile temas halindeki lifler boyunca olan ısı iletimi ile, kısmen de liften life ısı iletimi ile gerçekleşir. Isı birde deri yüzeyindeki bir sınır hava tabası ile iletilebilir. Kumaşın dış yüzeyine ısı transferi, lifler veya hava aracılığıyla iletim yoluyla ya da havanın kumaşın açıklıklarından taşınımı ile mümkün olur. Kumaş yüzeyinde, ısı çevreye, kumaşın dış yüzeyine yakın hava tabakasına iletim yoluyla ve daha sonra da çevredeki daha soğuk yüzeylere doğru konveksiyon ve yayılım yoluyla dağılır. Ne var ki kumaş ısının akışına direnç gösterir; ısının deriden çevreye transfer edilme hızını yavaşlatır [2].



Şekil 3.5. Deri sıcaklığı dış sıcaklıktan büyük olduğu zaman kumaştaki ısı akışı [2]

3.2.2. Termal Yalıtım

Yalıtım, çevre hava sıcaklığı vücut sıcaklığından daha soğuk olduğunda vücudun ısı kaybetmesini engeller. Tekstil yüzeyinin termal yalıtımı, tekstil yüzeyinin birim alanından birim zamandaki ısı akışına olan dirençtir. Bu yüzden termal yalıtım tekstilin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının ısı akışına oranıdır. T_1 ve T_2 iki yüzeydeki sıcaklıklar, Q ise birim zamanda birim yüzeyden geçen ısı (ısı akısı) olarak alındığında, malzemenin ısıl direnci R şöyledir:[19]

$$R = (T_1 - T_2)/Q \qquad (3.7)$$

Isıl iletkenlik, karşılıklı iki yüzey arasında 1° C sıcaklık farkı var olduğunda birim kalınlıktaki malzemenin birim yüzeyinden iletim yoluyla olan ısı akışı oranını verir.

Hava da iyi bir termal yalıtıcı olarak kabul gördüğünden havanın termal yalıtımı (I_a) ise benzer şekilde ifade edilebilir:

$$I_a = (T_c - T_a)/Q \qquad (3.8)$$

T_c = Elbisenin yüzey sıcaklığı

T_a = Hava sıcaklığı

Tablo 3.5. 0.5 g/cm^3 yoğunlukta paketlenmiş lif kitlesinin ısıl iletkenliği. [14]

Lif cinsi	Isıl (termal) iletkenlik (mW/mK)
Pamuk	71
Yün	54
İpek	50
PVC	160
Selüloz asetat	230
Naylon	250
Polyester	140
Polyetilen	340
Polypropilen	120
Durgun hava	25

Tekstil lifleri Tablo 3.5'ten de görüldüğü gibi havadan daha kötü yalıtım malzemeleridir. Bu nedenle, giysiler için ideal yalıtıcı giysi içindeki hapsedilmiş havadır. Lifli malzemeler, hacimlilikleri sayesinde yüksek hacimde hava hapsetme kapasiteleriyle bu amaca mükemmel hizmet ederler. Örneğin, takım elbiselik bir

kumaşın %25'i lif, %75'i hava; bir battaniyenin %10'u lif, %90'ı hava; kürk bir ceketin %5'i lif, %95'i havadır. Diğer deyişle, tekstil esaslı iyi bir termal yalıtıcı, en fazla hava hapsetme kapasitesine sahip olandır. Lifin termal yalıtıma katkısı, ikincil seviyededir. Taşınımın katkısı lifler arası mesafeyi optimize ederek, en aza indirilebilir. Işınım yoluyla ısı kaybı önemli seviyede değildir. Aşırı soğuk bölgelerde kullanılacak elbiseler için, ince metal kaplama bir film katı dahil edilerek, bu etki daha da azaltılabilir [14].

Tablo 3.6'da ise farklı malzemelerin ısıl iletkenliklerinin rölatif olarak oranları verilmiştir. Tabloda hava ve elyaf için referans değeri 1 alınmıştır ve diğer malzemelerin termal iletkenlik değerleri rölatif olarak bu referans değerinin katına göre saptanmıştır.

Tablo 3.6 Farklı malzemelerin birbirlerine göre termal iletkenlik oranları [2]

	Metal	Cam	Su	Elyaf	Hava
İletkenlik*	200000	1000	600	200	25
Elyafa oranla	1000	5	3	1	-8
Havaya oranla	8000	40	25	8	1

Pamuk	Nylon	Yün	Polyester	İpek	Polypropilen
17.5	10.0	7.3	7.0	7.0	6.0

*21C (70F) deki metre başına miliwatt değeri (mW/m)

Hava, beden tarafından üretilmiş ısının akışına karşı liflerden de dirençlidir. Havanın termal geçirgenliği liflere göre sekiz kat daha azdır; bu nedenle ısı akışı tekstil liflerine göre havada sekiz kat daha yavaştır. Hava mevcut en iyi ısı yalıtkanıdır. Kumaşlar, düşük termal geçirgenliğe sahip olan iki materyalden yani liflerden ve boşluktan oluştuğundan, iyi birer termal yalıtkan olabilirler.

İkinci olarak kumaşlar etkili yalıtkanlardır; çünkü vücuttan konveksiyonel ısı kaybının hızını yavaşlatırlar. Bir kumaşın içindeki lifler ve iplikler hava hacmini küçük, ayrı boşluklara ayırır. Kumaştaki gözeneklerin büyüklüğü dikkate alındığında önemli bir hava hareketi (konveksiyonel akımlar) oluşmaz ve hava "durağan" duruma geçer. Diğer değişle, iplikler ve ipliklerin içindeki liflerin arasındaki hava, iletim aracılığı ile ısıtılır; ama konveksiyonel ısı hareketi kolayca gerçekleşmez.

Üçüncü olarak bir kumaş etkili bir yalıtkandır; çünkü havanın yapışabileceği geniş bir yüzey alanı içermektedir. Örneğin, bir erkek elbisesini oluşturan kumaşın içindeki toplam yüzey alanı 250 metre karedir. Bu alan bir tenis kortunun alanına eşittir. Kumaşın kendi yüzey alanı ise 5 m^2'dir. Sınır hava tabakaları hem kumaş yüzeylerinde hem de lif yüzeylerinde oluşur. Sınır-tabaka teorisine göre, katı bir cisimle temasa geçen hareketli hava (ya da su) sürtünme kuvvetinden dolayı katının yüzeyine yapışacaktır. Ayrıca, sınır tabaka havasının yoğunluğu, nesneden uzak olan havanın yoğunluğundan fazladır. Hava ne kadar yoğunsa o kadar yalıtım yeteneği var demektir. Bir kumaş deri üzerine konulduğunda, deri yüzeyinde ve dış kumaş yüzeyinde sınır hava tabakaları oluşur. Her iki hava tabakası da, vücut tarafından üretilen ısının kaybına karşı hatırı sayılır bir direnç gösterir [2].

Ayrıca, sınır tabaka teorisinin statik (hareket etmeyen) bir durumda olan havaya uygulandığını varsayarak, sınır hava tabakalarının lif yüzeylerinde oluştuğu kabul edilir. Kumaşın içindeki havanın miktarı, hem liflerarasında tutulmuş havadan hem de sürtünmeyle lif yüzeylerine bağlanmış daha yoğun havadan oluşacaktır. Bu teoriye dayanarak, kumaş ağırlığını arttırmadan yalıtım yeteneğini arttırmak için, kumaş içinde hapsedilen hava miktarı artırılmaya çalışılır.

Kumaştan ışınımla ısı kaybı oldukça azdır. Aynı sıcaklık şartlarında deriye göre, çok az miktarda ısı, kumaşın dış yüzeyinden ışınımla kaybedilir.

Kumaşın ısı akışına toplam direnci, kumaşın kendisi tarafından sağlanan direncin, deri yüzeyi ile iç kumaş yüzeyi arasındaki hava tabakasının direncinin ve iç ve dış kumaş yüzeyleri arasındaki sınır hava tabakalarının dirençlerinin toplamıdır.

3.2.2.1. Termal Yalıtımda Kullanılan Birimler

Tekstil kumaşlarının ısı yalıtım özellikleri çeşitli biçimlerde tarif edilmiştir. Miller'in tanımına göre ısının iletimine karşı koyma yeteneğidir. Morris ise kumaşın termal yalıtım, denge koşulları altında insan vücudunun normal sıcaklığını korumasına olan etkisi olarak tanımlamaktadır [13].

Giysi malzemelerinin termal yalıtım özelliklerini ifade etmekte çeşitli birimler kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi iletim (kondüksiyon) birimi, ikincisi ise direnç birimidir. İletim birimi belirlenmiş sıcaklık farkı altında birim zamanda belli bir

alandan akan ısı miktarını ifade eder. Direnç birimi ise iletim biriminin karşıtıdır. Teksilde termal direnç birimi için iki tane özel birim adı vardır: Tog ve clo.

Çoğu giysi uygulamalarında en önemli termal özellik ısı akışını engelleyen yalıtımdır. Bir malzemenin yalıtımının ölçümü onun termal direncidir ve iki yüzey arasındaki sıcaklık farkının ısı akısına bölümü olarak tanımlanmıştır ve birimi K.m²/W¹'dır. Bir noktadaki ısı akısının büyüklüğü malzemenin termal direnci ile ters orantılıdır, direnç ne kadar büyükse ısı akısı o kadar düşük olur.

Termal direnç aynı zamanda tog cinsinden de ifade edilir. Tog kumaşın veya malzemenin bir tarafından diğer tarafına olan sıcaklık farkının metrekare başına watt değeri cinsinden ısı akısına oranının onda biri olarak tanımlanır. Demek ki, 1 tog'luk termal direnç, °C derece sıcaklık farkı başına 10 Wm²'lik bir ısı transferine karşılık gelir [13].

$$10\ tog = 1\ C^{o}/(\ watt.m^{2})$$

Yani,

$$1\ tog = 0.418\ C^{o}.s.m^{2}.cal^{-1}$$

Tog termal direncin fiziksel bir birimidir. Kumaşların, yorganların ve diğer tekstil ürünlerinin sıcaklığı tog cinsinden ölçülür.

Orta kalitedeki bir battaniyenin veya takım elbiselik bir kumaşın termal direnci 1 tog'dur. Bir tekstil yüzeyinin ne kadar yüksek tog değeri olursa, o kadar büyük miktarda termal yalıtım sağlanır. Durgun havada giysilerin veya yatak takımlarının birkaç tabakalarının termal dirençleri, her bir tabakadaki değerlerin toplanmasıyla elde edilir. Tablo 3.7'de bazı kumaşların tog değerleri verilmiştir.

Tablo 3.7 Giyim ve mefruşat kumaşlarının tipik termal direnç değerleri [13]

Kumaş Tipleri	**Termal Direnç Değerleri (Tog)**
Gömleklikler	0.1
Takım Elbiselikler	1
Kazaklar	1
Halılar	2
Perdelikler	0.2
Çarşaflıklar	0.2
Battaniyeler	1
Yorganlar	10

Uygun tog değerlerine sahip kumaşların seçimi önemlidir; ancak, termal olarak rahat bir elbise geliştirilmesinde düşünülmesine gerekentek şey değildir. Elbise dizaynı da oldukça önemlidir; çünkü oda ısı akışını etkiler. Örneğin, yakalı, kollukluya da bel kesimi olan giysiler doğal konveksiyonel akımların hareketini ciddi şekilde değiştirirler. Dolayısıyla elbise uygunluğu da önemli bir faktördür: deriye daha yakın şekilde oturan elbiseler daha ince sınır tabaka havasının oluşmasına ve böylece daha yavaş konveksiyonel hava akımlarına sebep olurlar. İyi oturan elbiseler genellikle aynı stil ve kumaştan olan gevşek duran elbiselere göre daha fazla termal rahatlık verirler.

Clo da bir diğer yalıtım birimidir ve 0.155°C.m².W⁻¹'luk ortalama termal direnç olarak tanımlanır. Bir başka tanımlama ise clo, 21°C ve 0.1 m².s⁻¹hava hareketine sahip çevre koşullarında dinlenen ve 1 met veya 58 W².m⁻¹ oranında ısı üreten bir kimsenin gereksinimi olan yalıtım miktarıdır. O nedenle clo birimini kabaca iç mekanlarda giyilen kıyafetlerin yalıtımı gibi düşünebiliriz [13].

Fiziksel olarak ölçülen termal direnç,

$$1\ clo = 0.155\ ^\circ C\ m^2.\ W^{-1}$$
$$= 0.18\ ^\circ C\ m^2.h.kg^{-1}.cal$$

veya

$$1\ clo = 0.648\ ^\circ C\ s.\ m^2.cal^{-1}$$
$$= 0.880\ ^\circ F.h.ft^2.Btu^{-1}$$
$$= 1.55\ tog$$

Termal kondaktivite (ısıl iletkenlik) malzemelerin ısı davranışında kullanılan iyi bilinen bir başka tanımdır. Sadece iletim yoluyla ısı transferi yapıldığı durumda ısı akışının sıcaklık farkına oranı ile tanımlanır ve birimi $W.m^{-1}.K^{-1}$ dir.

3.2.2.2 Tekstillerde Termal Yalıtım Ölçüm Metotları

Literatürde termal iletkenlik veya termal direncin ölçülmesi ile ilgili olarak pek çok ölçüm yöntemleri tarif edilmiştir. Bir tekstil malzemesinin termal direncinin belirlenmesi net birtakım zorlukları da beraberinde getirir. Bu zorluklar tekstil malzemesinin doğal yapısından kaynaklanmaktadır. Kumaşın içinde sıkışmış olan

hava tabakalarının etkisi nedeniyle bir kıyafetin termal iletkenliğini teorik olarak net bir şekilde belirlemek zordur.

Giysi malzemelerinin termal yalıtım değerlerinin ölçümünde çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Kumaşların termal yalıtımının belirlenmesinde genellikle üç farklı metot kullanılmaktadır.

a. Soğutma Metodu. Bu metotta sıcak bir vücut bir kumaş ile sarılır. Bu sistemin dış yüzeyi havanın etkisine açık bırakılır ve vücudun soğuma oranı ölçülür.

b. Disk Metodu. Bu yöntem aslında Lees-disk cihazının tekstillere uygulanmasıdır. Kumaş farklı sıcaklıktaki iki levha arasında tutulur ve ısının akış oranı ölçülür.

c. Sabit Sıcaklık Metodu. Bu yöntemde de kumaş yine sıcak bir vücudun etrafına sarılır ve vücudu sabit bir sıcaklıkta tutmak için gereken enerji bulunur.[13]

Japon Prof. Kawabata'nın geliştirdiği Thermolabo-II Thermal Tester adlı sistem, termal yalıtım ölçümünde en etkili sistemdir. Ekipman sıcak plaka mantığı ile çalışmaktadır. Bu kullanımda deney malzemesi olmadan belli sıcaklıkta tutulan sıcak bir plaka vardır. Numune ile birlikte plakanın sıcaklığını sabit tutmak için harcanan enerji W şeklinde üzerinde numune olmadan aynı plakayı aynı sıcaklıkta tutmak amacıyla harcanan enerji ile karşılaştırır. Oran yüzde olarak ifade edilir [19].

Giysilerin termal özelliklerinin bu tip ölçümünde dört ayrı teknik kullanılabilmektedir. Bunlar:

1. Kuru temas: numune, sıcak plaka ile direkt temas halinde yerleştirilir.
2. Kuru boşluk: numune, plakadan 5 mm aralıklı yerleştirilir.
3. Islak boşluk: numune ile plaka arasına ıslak bir filtre yerleştirilir.
4. Islak boşluk: filtre numuneden 5 mm aralıkla yerleştirilir.

Tüm ölçümler 10 cm/sn ve 100 cm/sn hız aralığında hava akımlı ortamda yapılır. Islak teknikler terli vücut ortamı yaratmak amacı ile kullanılır.

Bu ölçüm yöntemlerinde başka kullanılan ölçüm cihazları da vardır.

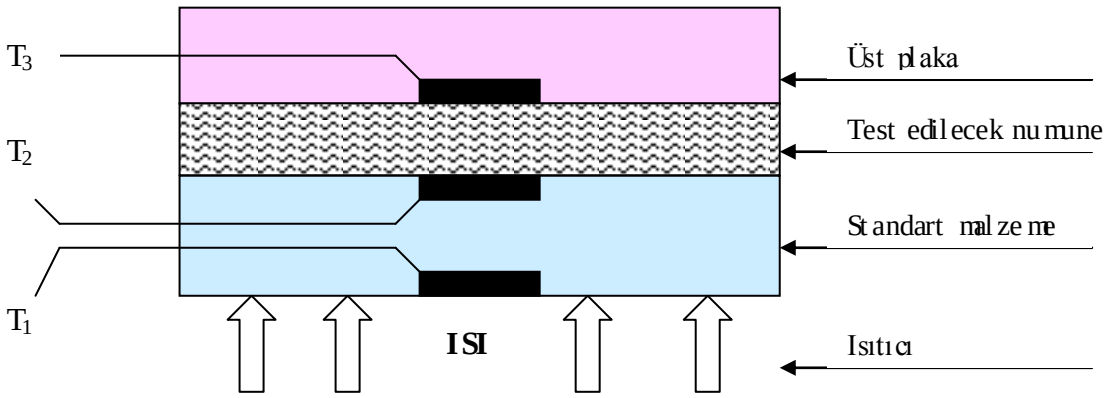
TOGMETRE: Togmetre, test edilecek numunenin ve termal direnci bilinen standart bir malzemenin (genellikle test edilecek numuneye benzer şekilde ölçülendirilmiş

köpük) seri olarak bağlanması ile oluşturulmuş bir düzenektir. Isı, önce standart olarak kabul edilen malzemeden sonra da numuneden geçer. Malzemeler seri olarak bağlandığı için her iki malzemeden de geçen ısı akısı aynı olacaktır. Test edilen malzemenin yüzeyleri arasında meydana gelen sıcaklık farkının standart malzemenin yüzeyleri arasında meydana gelen sıcaklık farkı ile karşılaştırılması ile malzemenin termal direnci hesaplanabilmektedir. [20]

Numunenin tog değeri de basit bir orantı hesabı ile bulunabilir. Mesela, numune yüzeyleri arasında meydana gelen sıcaklık farkı standart malzemenin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının iki katı ise numunenin tog değeri de standart malzemenin iki katı kadar olacaktır. [21]

Togmetre, termal direnci bilinen yalıtıcı bir tahta tabakası ile kaplanmış, termostatik olarak kontrol edilen ısıtıcı bir plakadan oluşmaktadır. Bu standart malzemenin her iki yüzündeki sıcaklık ölçülmektedir. Isıtıcı, standart malzemenin üst yüzeyi ten sıcaklığında (31-35 ° C) olacak şekilde ayarlanmaktadır. Düzenek üzerinde düşük miktarda hava akımı oluşturulmaktadır. Togmetrede iki farklı test metodu uygulanabilmektedir:

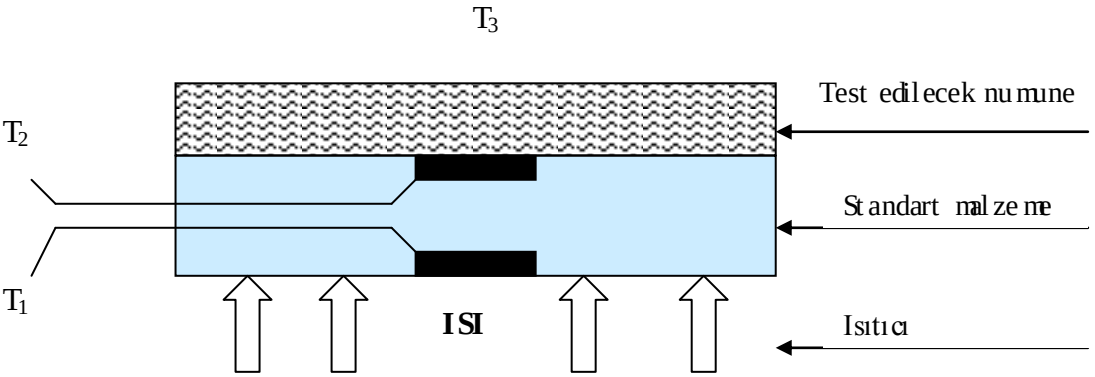
1. **Çift plaka yöntemi:** Test edilecek malzeme ısıtılmış alt tabaka ve havadan yalıtımı sağlayan üst plaka arasına yerleştirilir.Üst plakanın kütlesi düşüktür, böylece test edilecek kumaşı sıkıştırmaz. Isıtıcıdaki sıcaklık (T_1),standart malzeme ve test edilen malzeme arasındaki sıcaklık(T_2), test edilen malzeme ve üst plaka arasındaki sıcaklık(T_3) ölçülür [20].



Şekil 3.6. Togmetre, çift plaka metodu [20]

2. **Tek plaka yöntemi :** Bu metotta, test edilecek numune ısıtılmış alt plaka üzerine yerleştirilir ve üst kısmı havayla temas edecek şekilde açık bırakılır.

Numune üzerindeki havanın da bir termal direnci vardır, bu yüzden bu metotta havanın ve numunenin termal direncinin toplamı ölçülebilecektir. Bu nedenle havanın termal direncini (R_{hava}) ölçmek amacıyla önceden numune olmaksızın bir deney yapılmalıdır [20].



Şekil 3.7. Togmetre, tek plaka metodu [20]

Havanın termal direncinin ölçümü: Isıtıcı ve fan açılır; düzenek numune olmaksızın termal dengeye ulaşıncaya kadar beklenir. Hava sıcaklığını ölçmek için, üst plaka, folyo kaplı plaka ile radyasyondan korunan düzeneğin altına yerleştirilir. Sıcaklık her termocouple'da 30 dakika boyunca karalı halde kalmalıdır. Dengeye ulaşılması bir miktar vakit alabilir. Havanın termal direnci şu şekilde hesaplanacaktır:

$$R_{hava} = R_{standart} \times [\,(T_2 - T_3)/(T_1 - T_2)\,] \qquad (3.9)$$

Burada $R_{standart}$ standart malzemenin termal direncidir.

Numunenin termal direncinin ölçümü: Aynı deney test edilecek numune alt plakanın üzerine konarak yapılır ve düzenek termal dengeye ulaşıncaya kadar beklenir. Numunenin termal direnci şu şekilde bulunabilir:

$$R_{numune} = \{\, R_{standart} \times [\,(T_2 - T_3)/(T_1 - T_2)\,]\,\} - R_{hava} \qquad (3.10)$$

Shirley Togmetresi: Tekstil malzemelerinin termal direncini ve iletkenliğini ölçmek amacıyla kullanılan Shirley togmetresi Şekil 3.8'de görülebilir. Dijital olarak kontrol edilen sıcaklık sensörleri ve ısıtıcı ile donatılmıştır. Kontrollü hava akımı sağlayan özel bir kabin içerisine yerleştirilmiştir. Düzenek 100 kg ağırlığındadır. 170 cm eninde

ve 80 cm uzunluğundadır. ISO 5085 ve BS 4745 standartlarına uygun olarak düzenlenmiştir [22].

Şekil 3.8. Shirley tog metresi [22]

KORUYUCU HALKALI SICAK PLAKA METODU: Koruyucu halkalı sıcak plaka, termal direncin çarpmaya göre tersi olan termal iletimi ölçek için kullanılır. Düzenek koruyucu bir halka ile çevrelenmiş ısıtılmış bir test plakası ve altta bulunan bir diğer plakadan oluşur. Her üç plaka da alüminyum levhaların arasına sandviç biçiminde yerleştirilmiş ısıtıcı elemanlardan oluşmaktadır. Tüm plakalar cilt sıcaklığı aralığında (33-36 °C) sabit bir sıcaklıkta tutulmaktadır.

Koruyucu halka ve alt plaka, teste tabi tutulan kumaştan yukarı yönde geçen ısı dışında bir ısı kaybı olmasını engeller. Düzenek sakin bir hava ortamı sağlamak amacıyla bir koruyucu ile kaplıdır. Düzeneğin çevresi 4.5 ve 21.1°C arasında %20 ve 80 bağıl nemde sabit ortam şartlarında tutulmaktadır.

Test edilecek kumaş yerleştirildikten sonra, ölçümlere başlamak için düzeneğin dengeye ulaşması beklenmelidir. Kalın numuneler için bu biraz zaman alabilir. Test plakası ısıtıcısının güç tüketiminden, W/m^2 cinsinden numuneden geçen ısı miktarı ölçülebilir. Test plakasının ve bu plakanın 500 mm üzerindeki havanın sıcaklığı termokupullar ile ölçülür.

Ölçülen termal iletkenlik, numunenin termal iletkenliği ve numune üzerinde bulunan hava tabakasının termal iletkenliğinin toplamından oluşmuştur. Burada hava tabakasının termal iletkenliği ihmal edilmemelidir. Bu yüzden, numune olmaksızın deneyin tekrarlanması ile plakanın çıplak haldeki iletkenliği de ölçülmelidir. Plakanın üzerindeki hava tabakasının iletkenliğinin, numune üzerindeki hava tabakasının iletkenliği ile aynı olduğu kabul edilmektedir.

3.2.2.3. Tekstil Malzemelerinin Termal Özellikleri ve Etki Eden Faktörler

Kumaşlar termal yalıtımiçin kullanıldıkları zaman, bedeni soğuk ve sıcak gibi uç sınırlardaki çevre sıcaklıklarından koruması amaçlanır. Kumaşlar bedeni giysiler veya yorganlar vasıtasıyla doğrudan ve odalarda yalıtımamaçlı kullandığımız halılar ve perdeler vasıtasıyla dolaylı olarak korurlar.

Tekstil malzemelerinin termal özelliklerini şu şekilde özetleyebiliriz[13]:

i. Kumaşların termal iletkenliği yoğunlukile azalır. Aynı koşullar altında ölçüm yapıldığı zaman farklı elyafların ısıl geçirgenlikleri arasında çok az bir farklılık olduğu gözlenmiştir.

ii. Kumaşların termal yalıtımı, öncelikle kumaşın ve ipliklerin içindeki durgun havaile olmaktadır. Termal yalıtımda da elyaf tipinin çok büyük bir önemi yoktur ve yeterli kalınlık ve uygun dokuma yapısı ile her türlü elyaf çeşidiyle istenen termal yalıtımdeğerinde bir kumaş üretmek mümkündür.

iii. Tekstillerin termal yalıtım yönetiminde en önemli faktör kumaş kalınlığıdır.

iv. Eşit kalınlıkta iki kumaş incelendiğinde, düşük yoğunluklu kumaş diğerine nazaran çok daha iyi bir termal yalıtıma sahiptir. Fakat kritik bir yoğunluk değeri vardır ki ($0.06\ g.cm^{-3}$) yoğunluk bu değerin altında olduğunda taşınımetkileri önemli hale gelir ve termal yalıtım başarısızlıkla sonuçlanır.

v. Tekstillerin termal geçirgenliği, onların nemiçeriğiile artar.

vi. Kumaşla birlikte sağlanan termal yalıtımsıcak vücut ve kumaş arasındaki hava boşluğu arttıkça oldukça yükselir. Bu hava boşluğunun bir sınırı vardır ve bu değer yaklaşık 0,3-0,4 inç kadardır. Hava boşluğu miktarı bu kalınlıktan fazla olduğu zaman yalıtım düşer. Bu düşüşün nedeni, taşınım efektlerinin artmasından kaynaklanır.

vii. Rüzgar hızı arttıkça kumaşla birlikte sağlanan termal yalıtımazalır. Kumaşın içindeki durgun havaya kıyasla rüzgarın bu etkisi sıkı dokunmuş kumaşlarda en az görülür.

viii. Bir kumaşın termal yalıtımı, eğer kumaşın dış yüzeyi ince, sıkı dokunmuş bir dış kumaş ile kaplanırsaepeyce artar.

ix. Bir kumaşın termal yalıtım değeri (TIV) ve birim alandaki kütlesi arasında çok önemli bir ilişki göze çarpmaz; ancak birim alandaki kütlenin artmasıyla TIV'de hafif bir artış olur.

Tekstillerin termal özelliklerine etki eden faktörler şu şekilde özetlenebilir:

- lif ve kumaş içindeki havanın termal iletimi,
- lifin özgül ısısı,
- kumaş kalınlığı,
- kumaşın hacimliliği (kumaş içerisindeki hava boşluklarının sayısını, büyüklüğünü ve dağılışını dikkate alarak),
- kumaş yüzeyi (lif tipi, kumaş konstrüksiyonun ve kumaşın gördüğü terbiye işlemleri belirleyicidir),
- kumaş ve yüzeyler arasındaki temas alanı,
- vücuttan kumaşa iletimle gerçekleşen ısı kaybı,
- kumaş aracılığıyla vücuttan ve kumaş yüzeyinden taşınımla gerçekleşen ısı kaybı,
- ışınımla gerçekleşen ısı kaybı,
- vücuttan veya kumaştan suyun buharlaşmasıyla gerçekleşen ısı kaybı,
- kumaşın su absorpsiyonuna bağlı olan ısı kazancı,
- dış atmosferik şartlar: sıcaklık, bağıl nem ve çevre havanın dolaşımı.

Giysilerin sıcaklıklarıyla ilişkili fonksiyonel değerinin hesabında kalınlık çok önemli bir rol oynar. Burada sözü edilen sıcaklıkla ilgili fonksiyonel değer, giysilerin sağladığı ısı yalıtım miktarı ve onların vücudun oluşturduğu hissedilen (sıvı) ve hissedilmeyen (buhar) teri yok etmesini sağlama kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Bu nedenle kalınlık, konfor değerlerini de kuvvetli ölçüde etkiler. Termal yalıtım, daha önce de belirtildiği gibi ilk ve en önemli olarak kumaş kalınlığına bağlıdır. Bu sebeple; en sıcak lif en kalın kumaşı oluşturan liftir. Ayrıca, kumaş sıcaklığı hapsedilen havaya da bağlıdır ve kumaş ne kadar kalınsa hapsolan hava miktarı o kadar fazladır. Kumaşın lif içeriğinden ziyade; eklenen geniş hava hacmi sebebiyle kalınlık, ısı ve nem transferine karşı olan dayanımı arttırır.

Giyimde termal yalıtım pasif olarak giysilerle veya aktif olarak dinamik ısı yönetimi imkanı sağlayan ekstra malzeme veya işlemlerle yapılır.

3.2.3 Su ve Buhar Geçişinin Termal Konfora Etkisi

Elbise içindeki suyun hareketi incelenirken iki konfor yönü tanımlanabilir. Dış ortamdan gelen suyun (yağmur gibi) vücuda girişi engellenmek istenebilir; bu kumaşa bariyer etkisi yapacak su dirençli bir malzemenin terbiye işlemleri sırasında uygulanmasıyla ya da su iticiliflerin kullanılmasıyla mümkün olabilir. Bir diğeri ise, vücuttan mümkün olduğunca çabuk uzaklaştırılması gereken terin, vücudu kaplayan materyalin emişiyle uzaklaştırılmasıdır. Bu amaçla bitkilerdeki kılcal damar sistemine benzer bir yapının tekstil malzemesi içinde oluşturulması ile terin vücuttan uzaklaştırılmasını hızlandırılmıştır. Bu iki davranış özelliği her ne kadar zıt gibi görünse de aynı anda sağlanmaları istenir. Temelde amaçlanan bu ikisi arasındaki optimum korelasyonu sağlamaktır; bu konuda çok sayıda girişim vardır, ancak henüz daha tam olarak istenen düzeyde bir başarı sağlanamamıştır.

Bir elbisenin konfor özellikleri yönünden incelenmesi sırasında bir diğer önemli özellik de nemi hangi yolla geçirdiğidir. Bu proses sıvı veya gaz fazında gerçekleşebilir ve aradaki fark önemlidir. Bu özellik giysinin su buharı geçirgenliği olarak bilinir [23].

Soğuk hava koşullarında ısı transferi kritik bir öneme sahipse de buhar iletkenliği kesinlikle hem sıcak hem de soğuk hava şartlarında konfor açısından büyük öneme sahiptir. Eğer terleme rahatsız edici düzeyde ise sıvının kıyafet yüzeyine hareketi önemlidir. Bu kıyafetin nemli oluşuna yol açarken, kış şartlarında donmaya veya yaz koşullarında yapışkan hissetmeye neden olabilir.

3.2.3.1. Su Buharı Geçirgenliği

Uzun süreli giyimde konforun sağlanması için bilinen en hayati faktörlerden biridir. Giysi terleme ile oluşan nemin dağılmasına izin vermelidir. Eğer kumaş buhar geçişine izin vermiyorsa, soğuk bir ortama girdiğimizde ter içeride yani kumaşla deri arasında yoğunlaşır [4].

İnsan vücudu sürekli sıvı kaybeder. Dinlenme durumunda olan insanlar "hissedilmeyen terleme" olarak adlandırılan bu su kaybının farkında olmazlar.

Oturan bir kimse ortalama her saat buhar olarak yaklaşık 30 gram su kaybeder; bu her 24 saatte 0.71 litreye denk gelir. Bu nemin üçte ikisi deri yoluyla kaybedilir; üçte biri ise akciğerlerden dışarıya atılır [2].

Su, difüzyon yoluyla derinin alt tabakalarından yüzeyine doğru hareket eder, derinin sıcaklığı ile ısınarak buharlaşır ve vücudu soğutur. Oda sıcaklığında oturan bir insan toplam vücut sıcaklığının yaklaşık %10'unu, bu terleme yoluyla çıkan suyu buharlaştırmak için kullanır.

Buharlaşan terin kaybedilme hızı "buhar basıncı gradienti" tarafından belirlenir. Kıyafetli bir beden için buhar basıncı gradienti, eğer kumaşın bir yüzündeki buhar basıncı diğerinden fazla olursa meydana gelir. Deri yüzeyinde çevreye göre daha yüksek bir buhar basıncı var olduğunda, buharlaşma ile sıvı kaybı hızı daha hızlı gerçekleşir anlamına gelmektedir.

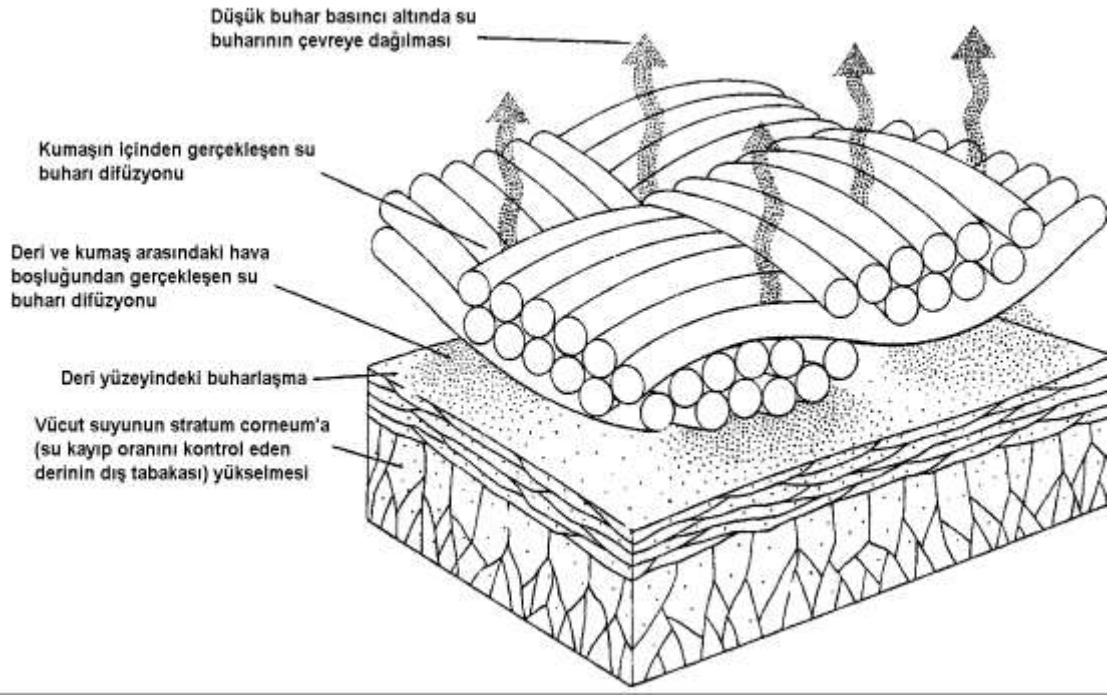
Benzer şekilde eğer hava, kumaşın bir yüzeyinde nemli, bir yüzeyinde kuru ise, su molekülleri ıslak taraftan kuru tarafa doğru hareket edecektir. Böylece su kaybının hızı, deri sıcaklığı ve dış çevrenin sıcaklığı arttıkça artar.

Terin deri yüzeyinden buharlaşması beden için bir soğutma mekanizmasıdır; çünkü deri yüzeyinde bulunan teri su buharına çevirmek için hatırı sayılır miktarda vücut tarafından üretilmiş ısı gereklidir. Deri sıcaklığındaki 1 gram suyun buharlaşması yaklaşık 0.6 kilogramkalori soğutma sağlar. Beden, difüze olmuş vücut içi suyunun tamamını buharlaşma yoluyla uzaklaştıramazsa, ter deri üzerinde yoğunlaşarak "hissedilir" hale gelir [2].

Çoğu durumda deri yüzeyindeki terin vücuttan çevreye doğru hızlıca uzaklaşması gereklidir ve kumaş özelliklerinin buna izin vermesi beklenir. Ne var ki deri üzerine yerleştirilmiş kumaş bedentarafından üretilen suyun kaybına aynı zamanda bir engel teşkil eder. Buhar ya da sıvı haldeki su bir kumaşın içinden geçerken, kumaş açıklıklarındaki hapsedilmiş durgun hava ve lifler neme doymuş hale gelebilir. Buda hem ıslanmayı hem de termal rahatsızlığı ortaya çıkarabilir.

Su buharını geçiren kumaşlarda, buharlaşan ter kumaş içerisinden geçerek kumaşın yüzeyine çıkar ve çevreye yayılır. Kumaşın su buharı geçirgenliği seviyesi, su buharının bir kumaş içinden geçme hızına bağlıdır.

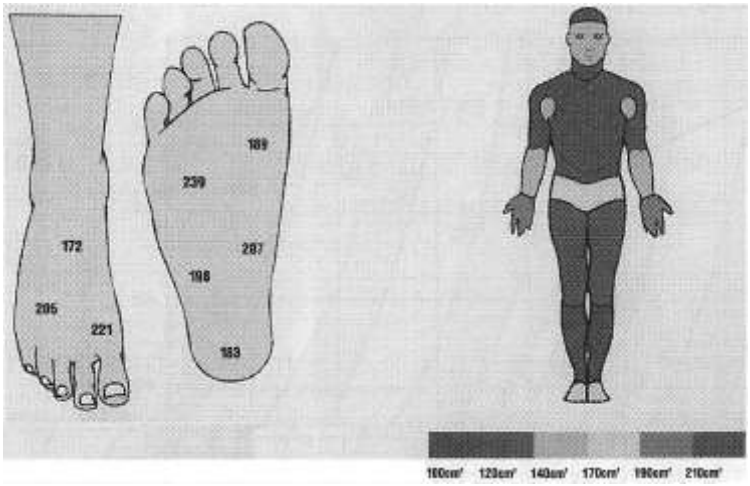
Su buharının bedenden çevreye geçmesine izin veren kumaşlara genellikle "nefes alabilir kumaşlar" denmektedir. Su buharı lifler ve kumaş açıklıklarıyla yayıldığından, hem kumaşın hem de liflerin "nefes aldığı" söylenebilir. Su buharı deri yüzeyinden buharlaşırken, su buharına geçirgen kumaşların içinden difüze olmaya devam eder. Böylece kumaş ve deri kuru kalır.



Şekil 3.9. Su buharı geçişine izin veren bir kumaşın su buharı difüzyonu [2]

Su geçirmez kumaşlarda buhar halindeki suyun çevreye difüze olmasına izin verilmez. Örneğin, bir kumaş üzerindeki bazı apre malzemeleri veya filmler buhar halindeki suyun kaçmasını engeller. Su buharının kumaşın içinden geçebilmesi için, kumaşın gözeneklerinin en az 3 mikrometre çapında olması gerekir [2]. Deri yüzeyinden buharlaşmaya devam eden su buharı kumaş açıklıklarını doldurur. Kumaş doygun hale geldiğinde daha fazla su geçişine izin vermez ve deri ıslanır.

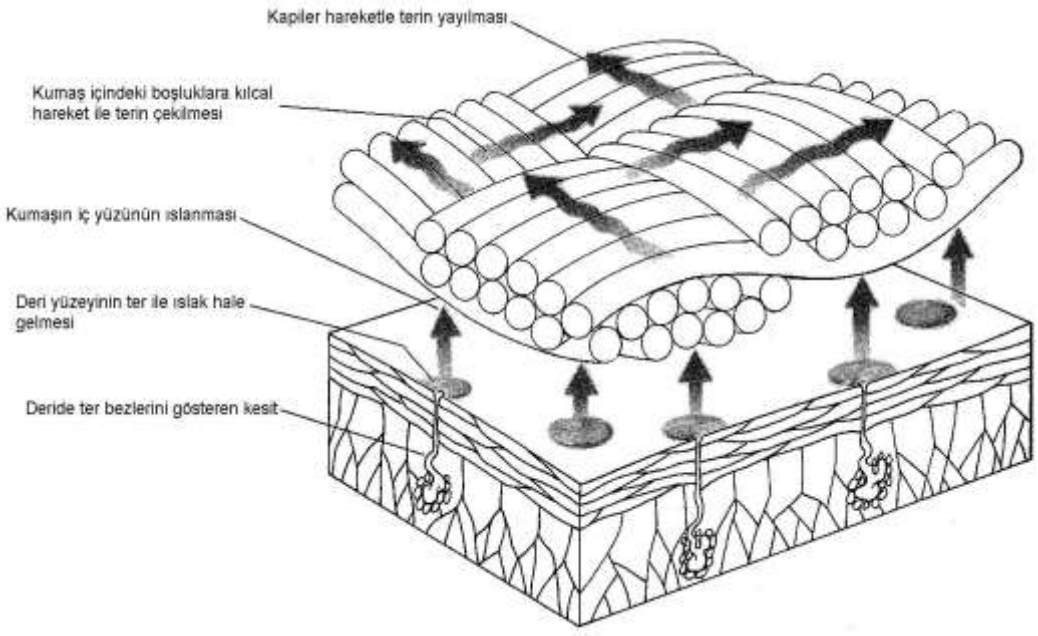
Günlük kullanım için olan elbiselerin belli bir dereceye kadar su buharına geçirgenliği olmalıdır. Daha sıcak çevrelerde yada daha yüksek faaliyet seviyelerinde de, deriyi kuru tutmak ve buharlaşma yoluyla deri sıcaklığını sabit tutma ve ıslanmayı engellemek için daha fazla su buharı geçirgenliği olması beklenir. Aktif dış giyim için özellikle ter bezlerinin el, kafa, ayak gibi vücutta yoğun olarak bulunduğu bölgelerde su buharı geçişini sağlanması son derece önemlidir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Ter bezlerinin vücuttaki yoğunlukları [4]

3.2.3.2. Suyun Kumaş İçindeki Davranışı

Suyun kumaş içindeki davranışını, kumaşın su tutma kabiliyetini, kurutma hızını ve suyun kumaş gözeneklerinde nasıl hareket ettiği şu şekilde ifade edilebilir. Su kumaş içerisinde emilerek ya da kılcal hareket aracılığı ile taşınabilir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kumaşın içinden terleme sonucu sıvı geçişi [2]

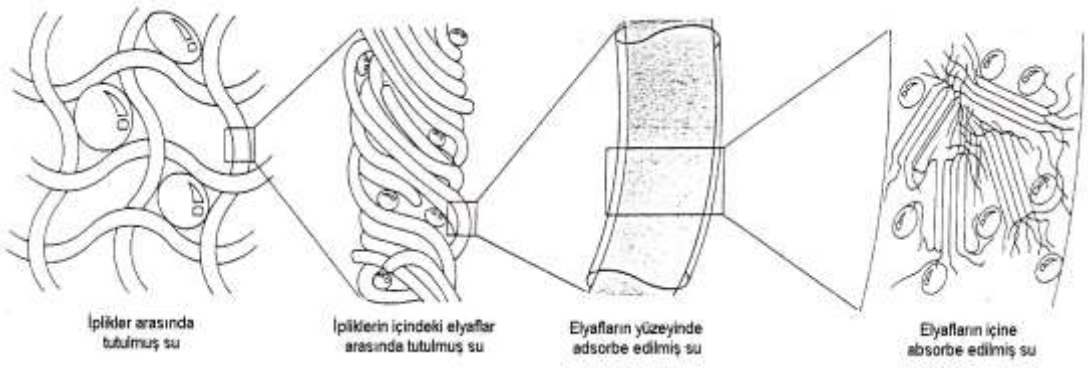
Kumaşlarda kılcal hareket, liflerin dış yüzü boyunca ve kumaşlardaki açıklıklar arasında meydana gelir. Kumaştaki kılcal bölgeler (açıklıklar) kumaşın bir yüzünden diğerine doğru kesintisiz bir "rota" oluşturmalıdır [2].

Kumaşın suyu emme kabiliyeti de konfor açısından önemli bir özelliktir. Yüksek sıcaklığın terlemeye sebep olduğu sıcak çevrelerde, elbiselerin emme kabiliyetlerinin yüksek olması istenir. Soğuk ve sıcak çevrelerde yapılan sıkı egzersizler için tasarlanmış kumaşlarda çok daha önemlidir. Kumaş aracılığı ile suyun emilmesi temelde deri yüzeyini mümkün olduğu kadar kuru tutarak suyun uzaklaştırılmasıdır. Islaklık deride hızlı bir ısı kaybına neden olduğu gibi ıslak kumaşın deri deki hareketi kuru olana göre daha aşındırıcıdır. Ayrıca ıslak deri mantar enfeksiyonlarına açıktır. Bu nedenle örneğin çorapların nem çekme kabiliyetleri özellikle sporcular için önemlidir

Suyun kumaş tarafından kolaylıkla emilmesi, derinin kuru tutulmasını sağlar ve soğutmanın zarar verici olduğu durumlarda deri deki ısı kaybını önler. Soğuk çevrelerde çalışan ya da egzersiz yapan kişiler elbiseleri içinde terleyecek kadar ısınabilirler. Deri yüzeyine konulacak emici bir kumaş tabakası teri emecek ve üşümenin ortaya çıkmasını geciktirecektir. Kayakçılar bu nedenle emme yeteneği iyi olan termal iç çamaşırları tercih ederler [2].

Kumaşın suyu emme hızı bir kumaş parçasının ucunu suya dik olarak daldırmakla gözlenebilir. Suyun belli bir zaman periyodunda kumaş boyunca yukarıya çıkma mesafesi emilmenin hızını ifade eder. Yatay emmenin hızı ise, bir su damlasının bir kumaş yüzeyinde dağılma alanı hesaplanarak bulunabilir [2].

Kumaş içinden difüze olmayan buhar ya da emilen su doyma noktasına ulaşana kadar kumaş malzemesi tarafından tutulur. Su, liflerin yüzeylerinde (adsorbe edilmiş su) veya kumaş açıklıkları içinde (tutulmuş su) olarak bulunabilir (Şekil 3.12).



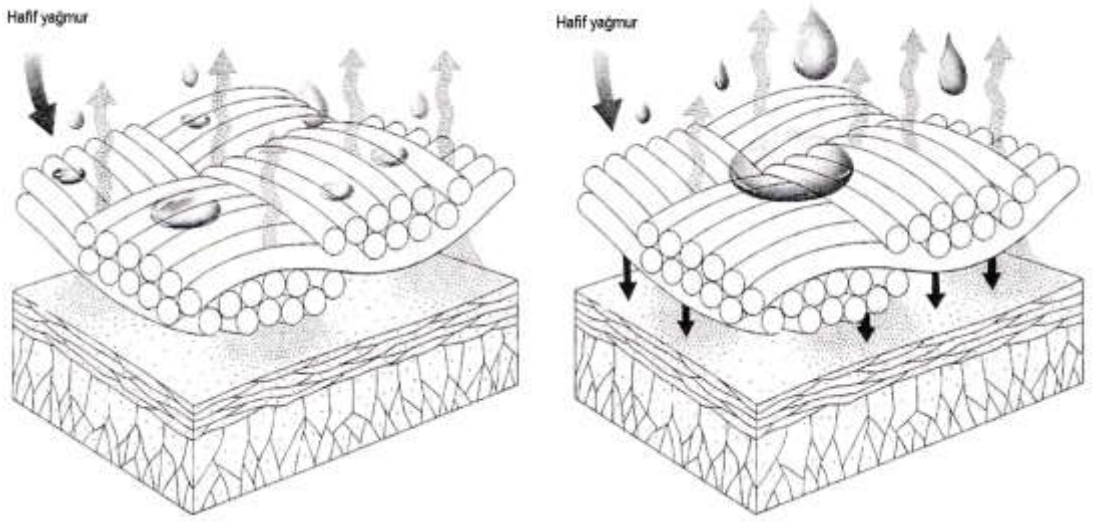
Şekil 3.12. Suyun sıvı ve buhar halinde kumaş içerisine yerleşimi. [2]

Adsorbsiyon eğer bir madde bir katının yüzeyine çekilirse meydana gelir. Adsorbe edilmiş bir tabaka lif yüzeyine moleküller arası kuvvetler, bağ kuvvetleri ya da her ikisi aracılığı ile tutunabilir. Liflerin adsorbe edecekleri su miktarı ciddi farklılıklar gösterir. Diğer yandan, eğer bir kumaşın yüzey alanı genişletilirse, onun liflerinin adsorbe edeceği su miktarı da artar. Bu nedenle iplik ya da kumaşın yüzey özellikleri de kumaşın adsorbe edeceği su miktarı açısından önemlidir.

Kuruma Hızı: Bir kumaşın ne kadar hızlı ya da yavaş kuruduğu termofizyolojik konfor açısından önemlidir. Islak kalan bir kumaş kolay kuruyan bir kumaşa göre bedeni daha düşük bir sıcaklık değerine kadar soğutur. Pamuk, yün, yapay ipek gibi liflerden oluşan kumaşlar, naylon, polyester gibi liflerden oluşmuş kumaşlara göre daha çok ve daha uzun süre nemtutar. Bu nedenle, hızlı bir soğuma arzulanıyorsa örneğin pamuk gibi kumaşlar naylon ya da polyestere göre daha iyidir. Ne var ki ıslak kumaş yapışma eğilimindedir; harekete daha fazla yük oluşturur ve kuru kumaşa göre daha yıpratıcıdır.

3.2.3.3. Su İticiliği

Su itici kumaşlar ıslanmaya direnç gösterir. Su, su itici kumaşlar üzerinde damla damla birikir ve yuvarlanır; suyun üzerinde yayıldığı ve ıslattığı kumaşlar su itici değildir (Şekil 3.13).



a) Su iticilik varsa: yağmur damlaları kumaş üzerine boncuklanır; su buharı çevreye dağılır.

b) Su iticilik yoksa: yağmur damlaları yayılır ve kumaşı ıslatır; su buharı ise çevreye uzaklaştırılır.

Şekil 3.13. Su iten ve su itici olmayan kumaşlar [2]

Su iticiliği bir yüzey davranışıdır. Su yüksek bir yüzey gerilimi olan bir sıvıdır; bu, su moleküllerinin birbirlerini yüksek bir kuvvetle çekmesi demektir. Kumaş yüzeyleri yüzey enerjisi bakımından farklılıklar gösterir; çünkü lif içerikleri ve uygulanan boya ve apre malzemelerinin kimyasal yapısı farklıdır. Su, sudan daha düşük bir yüzey enerjisine sahip bir kumaşın üzerinde damla damla birikir; sudan daha büyük bir yüzey enerjisine sahip kumaşın üzerinde ise yayılır ve onu ıslatır.

3.2.3.4 Su Geçirmezlik

Maksimum termal konfor ve ıslaklık konforunun devam etmesi için bedenden çevreye olan su geçişinin devamet mesi istenirken aynı zamanda, kumaştan beklenen diğer bir görev de, dış ortamdan sıvı suyun deri yüzeyine ulaşmasını engelleyecek bir bariyer oluşturmaktır.

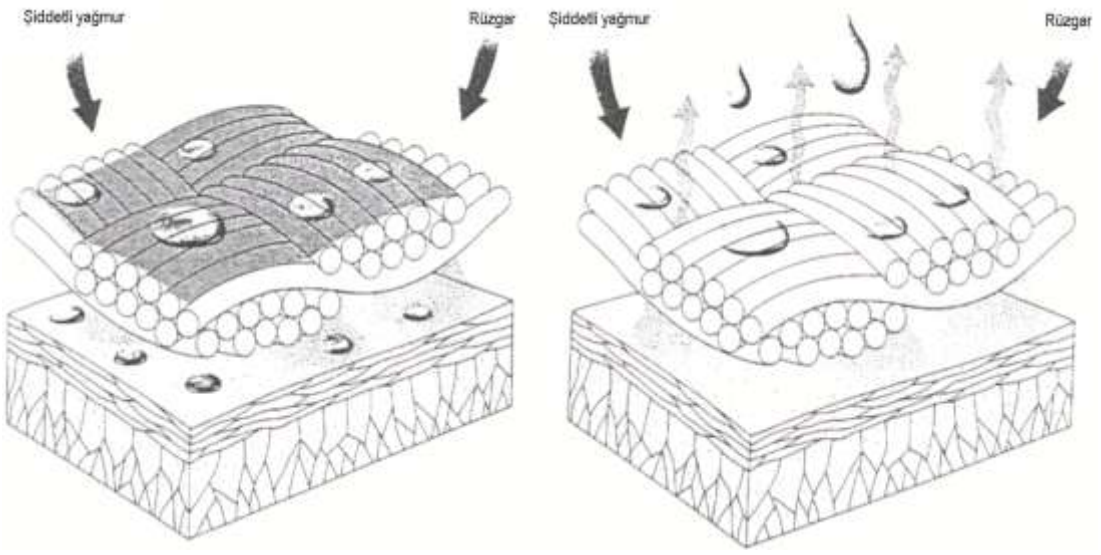
Bazı özel durumlarda, suyun kıyafete penetrasyonunu yani içine geçmesini engellemek gerekmektedir. Örneğin şiddetli yağmurlarda, gemi çalışanlarının kıyafetlerinde, yangın söndürme esnasında yüksek basınçlı suya maruz kalan itfaiyeci kıyafetlerinde bu özelliğe ihtiyaç duyulur. Bu tip kumaşlar su geçirmez özelliktedir ve örnek olarak kauçuk kaplı kumaşlar verilebilir. Bu tip kumaşlar uzun süre giyilemezler. Çünkü dışarıdan gelen suyu engelleyebilmelerine rağmen, içeride terleme ile gerçeklesen ıslanmayı engelleyemezler. Bu kategorideki kumaşlardan bazıları, sıvı olmayan buhar halindeki terin geçişine izin verir.

Su geçirmez kumaşlar suyun içeriye girmesine direnç gösteren kumaşlardır. Kumaş yüzeyine çarpan suyun gücü ne kadar fazla olursa suyun içeriye sızması ve alttaki yüzeyleri ıslatması ihtimali o kadar fazla olur. Kumaş yapısının sıklığı kadar apre işlemi de su geçirgenliğinin belirlenmesinde önemli bir faktördür (Şekil 3.14).

Su geçirmez kumaşın cinsine bağlı olarak, yani geleneksel ya da nefes alabilir olmasına bağlı olarak, su buharının (fark edilmeyen terlemenin) çevreye ulaşmasına izin verilebilir.

Geleneksel su geçirmez kumaşlar su buharının (fark edilmeyen terlemenin) çevreye ulaşmasına izin vermezler. Bu kumaşlar bir başka kumaş tabakasıyla kaplanmıştır; vinil ya da sentetik kauçuk gibi bir kumaş alt tabakası oluşturduğu ve/veya kumaş açıklıklarını tamamen kapladığı kumaşlar. Hafif bir nem artışı bu elbiseler içinde

olan için rahatsızlık yaratır. Su buharının dışarıya çıkması için özenli bir dizaynın (koltukaltı bölgesinde delikler ve boyundan uzakta olan yaka vb.) yapılması gerekir. Eğer kişi zor şartlar altında ağır bir iş ya da egzersiz yaparsa, ciddi bir ısı kaybı ya da daha genel olarak, soğuk nemli bir iklimde hipotermiye giden ciddi bir vücut üşümesi söz konusudur [2].



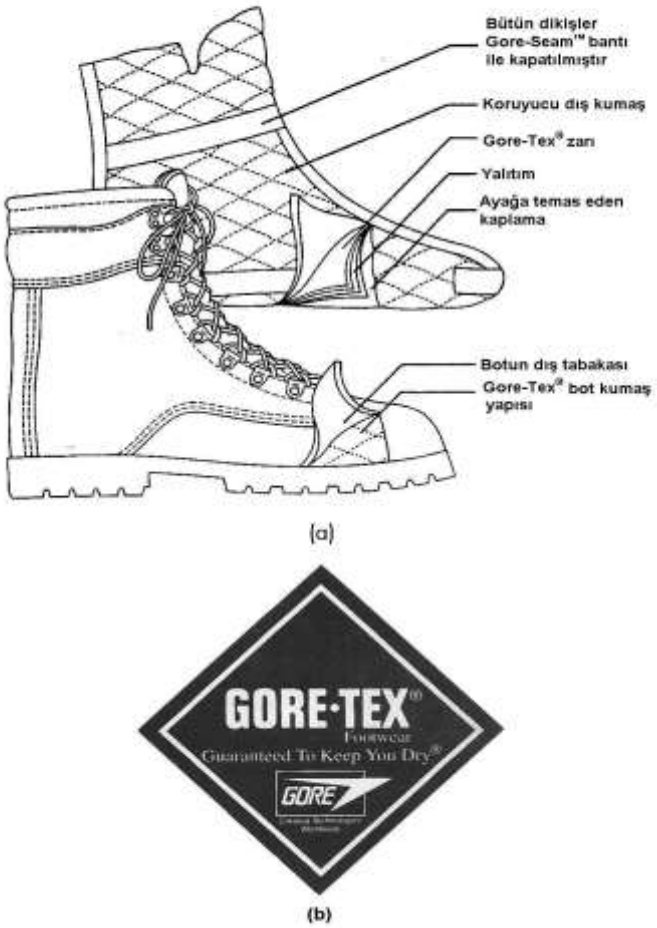
a) Geleneksel: Yüzey kaplaması suyun taşınmasına karşı bariyer görevi yapar ve deriden çevreye doğru su buharının dağılmasına engel olur böylece deri yüzeyi ıslanır.

b) Nefes alabilen: Kumaşın mikro gözenekli doğası suyun geçine bariyer etkisi gösterirken su buharının dağılmasına izin verir.

Şekil 3.14. Geleneksel ve nefes alabilen su geçirmez kumaşlar. [2]

Hem suyun içeriye sızmasını engelleyecek (çapı 100 mikrometreden küçük olan delikleri bulunan) hem de su buharının dışarı çıkmasına izin verecek kadar büyük olacak (çapı 0.0003 mikrometreden büyük olan delikleri bulunan) su geçirmez kumaşlara olan ihtiyaç, "su geçirmez nefes alabilir kumaşların" geliştirilmesine sebep olmuştur. Günümüzde çeşitli su geçirmezlik ve su buharı geçirgenliği kombinasyonlarına sahip yaklaşık 200'ün üzerinde bu tip kumaş vardır [2].

Su geçirmezlikten ödün vermeden maksimum su buharı geçirgenliğine beş yolla ulaşılır: kumaş dizaynı, lif boyutları (mikrolifler), mikro delikli zarlar, mikro delikli astarlar. En bilindik su geçirmez nefes alabilen ticari kumaş, Goretex®'dir. Sugeçirmez, ısı yalıtımve su buharı geçiş özelliklerine sahip bir ayakkabının dizaynı Şekil 3.15 de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. GORE-TEX® logosu ile üretilen suya dayanıklı, yalıtkan ve su buharı geçirgen ayakkabı dizaynı [4]

3.2.4. Hava Geçirgenliğinin Termal Konfora Etkisi

Hava geçirgenliği; kumaşın iki yüzü arasında belirli bir basınç farkı olduğunda, kumaşın birim alanındaki hava akışının hacmi olarak tanımlanır. Hava akışı çoğunlukla iplik içindeki boşluklarda olur ve bu boşluklar kumaş yüzeyine dik olan silindirik boşluklar olarak görülebilir.

Bir elbisenin hava geçirgenliği, onun sağladığı konforu farklı şekillerde etkileyebilir. Eğer bir kıyafetin hava geçirgenliği iyi ise, bu o kıyafetin sıvı veya gaz fazında su geçirgenliğinin de iyi olduğuna işaret eder [24]. Gözenekli tekstillerde, hapsedilmiş durgun hava azalır; geçirgenlik artar. Hava geçirgenliği ile örtme faktörü arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Örtme faktörünün artması, hava geçirgenliğinde azalmaya sebep olmaktadır.

Öte yandan, örtme faktörleri aynı olan kumaşların aynı hava geçirgenliğine sahip olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi ise örtme faktörünün sadece iplik sıklığı ve iplik numarasına göre hesaplanmasıdır. Oysa ipliklerin yassılma durumları kumaştaki örtmeyi ve geçirgenliği etkileyen en önemli faktör olmaktadır. Yassılma derecesi, örtme faktörü içinde yer almadığından geçirgenliği yalnızca örtme faktörüne bakarak tahmin etmek mümkün değildir.

İplikleri yassılmasına en önemli etkiyi büküm yapmaktadır. Büküm arttıkça ipliğin lifleri daha sıkı paketlenirler ve iplik kesiti dairesel hale yaklaşır ve yassılaşma azalır. İplik yassılmadığı zaman ise kumaştaki hava geçirgenliği doğal olarak artacaktır.

Örgüsü, örtme faktörü ve hammaddesi (lifleri) aynı olduğu halde hava geçirgenliği farklı olan numunelerin mikroskopla incelenmesi sonucunda da bunların büküm farklılığı nedeniyle yapısal değişiklik gösterdikleri anlaşılmıştır. Düşük bükümlü veya bükümsüz ipliklerin lifleri yayılarak kumaş yüzeyini tamamen örtmektedirler. Yüksek bükümlü iplikler ise kumaşta büyük açıklıkların oluşması sebebiyle geçirgenliği arttırmaktadırlar.

Kumaşın dokuma ve terbiye şartları da iplik kesitlerini değiştirerek hava geçirgenliğine etki etmektedir. Terbiye işlemleri, kumaş içinden havanın geçiş yolunun ve uzunluğunun değişmesine sebep olmaktadır. Örneğin sıcak kalanderleme iplikleri yassılaştırdığından hava geçirgenliğini düşürür.

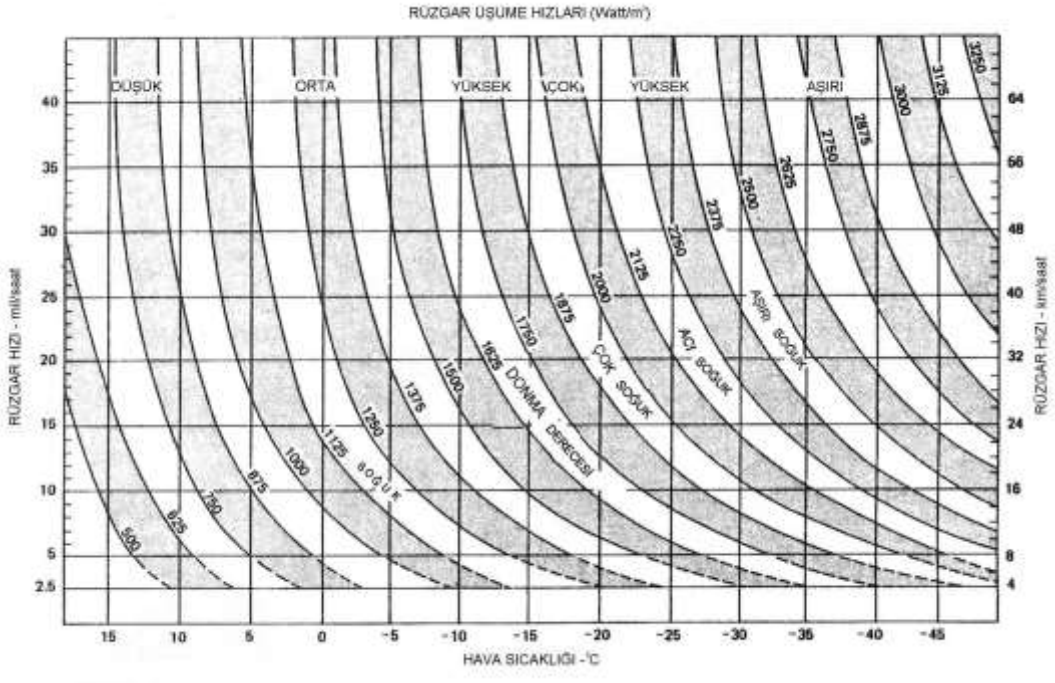
Özellikleri aynı olan kumaşlardan ham olanların hava geçirgenlikleri, mamul olanlara göre çok yüksek bulunmuştur. Bu durumda terbiye işlemlerinin kumaştaki açıklıkları kapatarak hava geçirgenliğini düşürdüğü söylenebilir. İpliğin harmanı dikkate alınarak yapılan incelemelerde ise, hammaddenin hava geçirgenliği üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tekstil yüzeylerinin hava geçirgenliğini ölçmek için geliştirilmiş standart test metotları bulunmaktadır. Bunların birinde numunenin her iki yanındaki ortam basıncı ayarlanmıştır ve numune içinden geçen hava ölçülür. Diğer bir sistemde ise geçen hava miktarı belli bir seviyeye ayarlanır ve daha sonra bu sabit hava geçişini sağlayacak ortam basınçları ölçülür [3].

3.2.5. Rüzgar Etkisi

Rüzgar üşütmesi sıcaklığa bağlı olduğu kadar rüzgar hızına da bağlıdır. Soğuk iklim şartlarında, rüzgarın üşütme etkisinin dikkate alınması son derece önemlidir; zira ısı kayıplarının %80'i rüzgar üşütmesinden kaynaklanmaktadır.

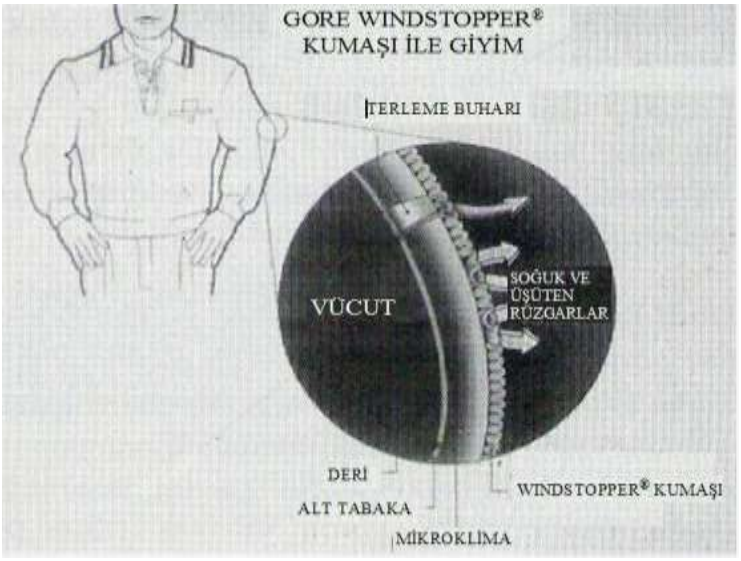
En etkili yalıtıcılardan biri durgun havadır. Havanın bu özelliği ısı pencerelerinde (çift veya üç camlı aralarında hava bulunan) veya duvar izolasyonu gibi yerlerde kullanılmaktadır. Rüzgarsız koşullarda havayı hapseden giysiler (kalın bir süveter gibi) vücut ısısının kaybedilmesini önler. Eğer rüzgar eserse bir bariyerin bulunması zorunludur aksi takdirde ısı hızla kaybedilir. Bu türdeki ürünlere rüzgar kırıcı adı verilmektedir. Rüzgarın vücut üzerindeki üşütme etkisi Şekil 3.16'de yer alan çizelgede gösterilmiştir. Buhar geçişine izin veren ince bir tabaka ile kaplanan WINDSTOPPER® (Gore) kumaşları yalıtımı ve rüzgar korumasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir (Şekil 3.17).[4]



Şekil 3.16. Rüzgarın üşütme etkisi [4]

Rüzgar üşütme etkisini tespit etmek için grafikte sıcaklık ve rüzgar hızı değerleri kesişinceye kadar takip edilir. Örneğin 20 mil/saat rüzgar hızı ve -10° C'nin kesişim noktası 1500 ve 1600 değerleri arasındadır veya yaklaşık 1570 olarak kabul edilebilir. 5 mil/saat rüzgar hızının altında rüzgar üşütme etkisinin hesaplanması

önerilmez. Bu rüzgar hızlarında rüzgar üşütme etkisinin tespiti zordur; çünkü rölatif nem gibi diğer faktörler önemli olur.



Şekil 3.17. Vücudun mikroklimasını korumak amacıyla tasarlanan WİNDSTOPPER® kumaşının işlev mekanizması [4]

Rüzgar etkisi Siple Passel formülü ile açıklanabilir [28]:

$$C = 0.323\left(18.97\sqrt{V} - V + 37.62\right)\left(33 - T_A\right) \qquad (3.11)$$

C= Rüzgar üşütme etkisi (W/m^2)
V = rüzgar hızı (km/h)
T_A= Hava sıcaklığı (^oC)
33 = Deri sıcaklığı (^oC)

Sakin havalarda deri sıcaklığı 33° C olarak alınır. Rüzgar üşütmesinin önemini, onun açıkta kalan bir vücut bölgesi üzerindeki etkisini gözden geçirmekle daha iyi anlaşılabilir. 1000 değerindeki bir rüzgar üşütme etkisi altında birey havayı çok soğuk hissederken 1200 değerinde aşırı soğuk hissedecektir. Rüzgar üşütme etkisi 1400 olduğunda açıkta kalan bölge 20 dakikada, 1800 olduğunda 10 dakikada, 2400'de ise sadece 1 dakikada donacaktır [14].

Tablo 3.8 ise soğuk ortamlarda rüzgar hızına bağlı olarak hissedilen sıcaklık değerlerini göstermektedir. Tabloda da görüldüğü üzere sakin bir havada rüzgarın üşütme etkisi yoktur ve bu durumda gerçek termometre sıcaklığı ile hissedilen sıcaklık aynıdır. Fakat rüzgar hızı artkca, kişi rüzgar üşütme etkisi altına girer ve hissedilen sıcaklık, gerçek termometre sıcaklığından çok daha soğuk olmaktadır.

Tablo 3.8. Soğuk ortamlarda eşdeğer rüzgar üşütme sıcaklıkları [1]

Rüzgar Hızı (km/h)	**Gerçek Termometre Sıcaklığı (°C)**												
	10	**5**	**0**	**-5**	**-10**	**-15**	**-20**	**-25**	**-30**	**-35**	**-40**	**-45**	**-50**
	Eşdeğer Rüzgar Üşütme Sıcaklığı (°C)												
Sakin	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
10	8	2	-3	-9	-14	-20	-25	-31	-37	-42	-48	-53	-59
20	3	-3	-10	-16	-23	-29	-35	-42	-48	-55	-61	-68	-74
30	1	-6	-13	-20	-27	-34	-42	-49	-56	-63	-70	-77	-84
40	-1	-8	-16	-23	-31	-38	-46	-53	-60	-68	-75	-83	-90
50	-2	-10	-18	-25	-33	-41	-48	-56	-64	-71	-79	-87	-94
60	-3	-11	-19	-27	-35	-42	-50	-58	-66	-74	-82	-90	-97
70	-4	-12	-20	-28	-35	-43	-51	-59	-67	-75	-83	-91	-99
Çok az tehlike					**Artan tehlike**			**Büyük tehlike**					

BÖLÜM 4. DİNAMİK ISI YÖNETİMİ

4.1. Tekstiller için Akıllı Teknolojilere Genel Bakış

Heyecan verici bir çağda yaşıyoruz ve teknolojinin bu gelişimini, çok uzun bir tarihi olan dokuma kumaş ve giyim endüstrisindeki büyük etkilerini hissediyoruz. Geleneksel olarak bir çok bilim ve mühendislik alanı ayrı ve bağımsız olmuştur. Son zamanlarda bu alanlardaki çalışmalar arasında ciddi beraberlikler vardır ve sonuçlar inanılmazdır. Malzemeler ve yapılar için akıllı teknolojiler bu sonuçlardan biridir.

Akıllı malzemeler ve yapılar nelerdir? Doğa akıllı yapılar için bize pek çok örnek sunar. Basit bir tek hücreli bir organizma temel şeylerin altını çizebilir. Çeşitli çevre koşulları ya da uyaranları onun dış tabakasına etki eder. Bu koşullar ya da uyaranlar kuvvet, sıcaklık, radyasyon, kimyasal reaksiyonlar, elektrik ve manyetik alanlar biçiminde olabilir. Dış tabakadaki alıcılar bu etkileri hisseder ve sonuçta ortaya çıkan bilgi sinyal işlenmesi ve yorumlama için iletilir; bu noktada hücre çevre koşullarına ya da uyaranlarına çeşitli şekilde reaksiyon verir. Bu reaksiyonlar: yer değiştirme gibi hareketler, kimyasal yapının değiştirilmesi ya da üremeye yönelik davranışlar şeklinde olabilir. Doğanın yaşamı geliştirmek için milyarlarca yılı ve çok büyük bir laboratuarı vardı; oysa ki insanoğlu akıllı malzemeleri ve yapıları daha yeni yeni geliştirmeye başlamıştır.

Akıllı malzemeler ya da yapılar, mekanik, termal, kimyasal, elektriksel, manyetik ya da başka bir kaynaktan olan çevresel koşulları ya da uyaranlara reaksiyon gösteren malzemeler ya da yapılar olarak tanımlanabilir.

4.1.1. Akıllı Tekstillerin Gelişimi

Giyim malzemelerini, daha yüksek seviyeli işlemlere ve zekaya sahip kılmak için her zaman doğayı taklit edilmiştir. Mikroliflerin gelişimi buna güzel bir örnektir. Mikroliflerin için ilk önce ipeği incelenmiş ve onu taklit edilmiştir, daha sonra da çok daha ince ve bir çok açıdan daha iyi lifler üretilmiştir. Ne var ki şimdiye kadar tüm dokuma kumaşlar ve kıyafetleri ölü olarak adlandırabiliriz. Bir akıllı malzeme

tabakası olan derimiz gibi bir elbiseye sahip olmak harika bir şey olurdu. Deriyi incelemek ve daha sonra da derimize benzer bir akıllı materyal üretmek tekstil teknolojisinin en zorlu görevlerinden biridir.

Son on yılda, akıllı zeki malzeme ve yapılarla ilgili araştırma ve geliştirmeler sayesinde, özellikle uzay sanayinde, taşımacılıkta, iletişimde, evlerde, binalarda ve alt yapı sistemlerinde oldukça ilginç çok çeşitli akıllı ürünlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu teknoloji bütünsel olarak yeni olmasına rağmen, dokuma kumaş ve giysiler alanındaki akıllı tekstiller, bazı endüstriyel alanlarda uygulanabilir ve güvenilir olduğu bir seviyeye erişmiştir.

İlk olarak uzay programları sayesinde geliştirilen, ısı üreten ve depolayan lifler ve kumaşlar artık kayak elbiselerinde, ayakkabılarda, spor kasklarında ve yalıtım araçlarında kullanılmaktadır. Dokuma kumaşlar ve alaşımlar, optik fibersensörlerle birlikte temel köprülerin ve binaların sağlık durumunu belirlemekte kullanılmıştır. Giysilerin içine yerleştirilen, alıcıları olan, kişinin yaralanma ve sağlık durumunu tespit edebilen ve bu bilgiyi uzaktaki bir hastaneye bildiren birinci nesil giyilebilir ana kartlar geliştirilmiştir. Sıcaklığı, gerilmeyi, basıncı, gazları, biyolojik türleri ve kokuları ölçebilen fibersensörleri içeren ve dokuma kumaşlara direk olarak uygulanabilen elyaflar tipik akıllı lif örnekleridir. Geçirgen polimer tabanlı harekete geçiriciler yüksek bir enerji yoğunluğu seviyesine ulaşmıştır. Gelecekte küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve mobil telefon teknolojisi gibi teknolojilerle donatılmış kar montları ya da ayakkabılar gibi kendi duyuları ve beyni olan giysiler, kişinin konumu söyleyebilir ve ona rehberlik edebilir. Nano materyallerle birleştirilmiş dokuma kumaşlar, yüksek enerji soğurma kapasitesi veya boya geçirmezliği, sürtünme direnci ve ışık yayımı gibi diğer başka yeteneklerle donatılabilir.

Biçim hafızalı polimerler lif, film ya da köpük biçiminde dokuma kumaşlara uygulanmıştır; sonuçta ortaya yüksek performanslı kumaşlar ve kıyafetler çıkmıştır."Biçim hafızalı" olarak üretilen bir termoplastik poliüretan, camlaşma sıcaklığının üstünde, fakat erime sıcaklığının altında bir değere kadar ısıtıldığında, rijit, camsı konumdan, oldukça esnek ve eğilebilir halde olduğu kauçuğumsu bir hale değişir. Bu ona, camlaşma sıcaklığının altına soğutulması yoluyla, yeni bir şekil alması imkanını verir. Eğer parça tekrar camlaşma sıcaklığının üzerinde bir değere

ısıtılacak olursa, polimer orijinal şeklini "hatırlayacak" ve kendiliğinden o şekle dönecektir. Bu tip ürünlerin de tekstillerde kullanılmaları gündeme gelmiştir.

Sıcaklıkla kabaran malzemeler bir kekin içerdiklerine benzeyen kimyasallar içermektedir. Örneğin, fırınlamada kullanılan soda, pişirme sırasında karbondioksit oluşturacak şekilde ayrışan sodyum bikarbonat içermektedir. Bu gaz, hamur içinde saklı olduğu için kek kabarmaktadır. Kabartma yardımcı maddelerinin kullanıldığı karbonlu malzemeler, tıpkı kek hamuru gibi gazları içinde saklar ve sıcaklıkla bu gazlar koruyucu bir tabaka oluştururlar. Bu prosesin askeri giyside, bir kekin pişme süresi kadar uzun bir zamana yayılamayacağı, 1-2 saniyede tamamlanması gerektiği de hatırda tutulmalıdır.

Faz değiştiren malzemeler, bir çok çalışmaya konu olmaktadır. Faz değiştiren malzemeler, vücut sıcaklığını sabit tutacak şekilde ısıyı absorbe edebilen, depolayabilen, dağıtabilen ve açığa çıkarabilen karakterdedir. Faz değiştiren malzemelerle dinamik ısı yönetimi olanakları geliştirilmiştir.

Sıcaklığa karşı korunmanın bir yolu da, onu yansıtarak, uzaklaştırmaktır. Bu nedenle aleve tutulduğunda çok kısa sürede renk değiştirerek beyaza dönüşen ve alev uzaklaştığında herhangi bir iz bırakmadan orijinal rengini alan malzemeler üzerinde de çalışılmaktadır. Bu yaklaşım, bukalemun tarzı dinamik kamuflaj alanında da kullanılmaktadır.

Amerikan Ordusu Ar-Ge Merkezi, ısı stresini önlemek üzere havalandırmalı iç çamaşırı giysi sistemleri geliştirmiştir. Sistem, çok sıcak şartlarda 12 saate kadar operasyonu mümkün kılan kondüsyonlanmış havayı dağıtan bir tank içindeki soğutma kaynağı ile bağlantılıdır. 21° C civarındaki kondüsyonlanmış hava, yelek içindeki bir tüpe girer. Yelek serin havayı, askerin hayati organlarını serinletmek üzere gövdenin üst kısmına doğru yönlendirir. Yeleğe ulaşan hava bir düğme tarafından kontrol edilir. Mikroklimalı serinletme sistemleri olan yeleklerin, geliştirilmesi devam etmektedir. Bazı sistemlerde, sırt çantasında taşınan bir cihaz tarafından soğutulan bir antifriz çözelti, yelekteki tüp içinde sirküle edilmektedir. Yeleğin sıcaklığı, sıvı sıcaklığı ile kontrol edilmektedir. Sırt çantasında, sirküle sistemini tahrik eden bir motor, motoru tahrik eden bir pil ve soğutulan sıvı için bir rezervuar bulunur.

Akıllı teknolojilerin araştırılması ve geliştirilmesi ve endüstriler tarafından benimsenmesi, geleneksel disiplinlerin sınırlarının ortadan kalktığı ve çapraz üretimin hiç olmadığı kadar hızlı olduğu çoklu ve disiplinli bir takım çalışmasına bağlıdır.

Akıllı tekstilleri araştırma ve geliştirme çalışmaları, dünya çapında hem akademik ve araştırma enstitülerinde hem de şirketlerde yürütülmektedir. Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya'daki ülkeler bu konuda oldukça aktiftirler ve hem ticari anlamda hem de araştırma anlamında hatırı sayılır ürünler vermektedirler.

4.2. Isı Depolayıcı Malzemeler

Isı depolayıcı malzemeler, hissedilir, gizli ve kimyasal reaksiyonlu ısı depolayıcılar olmak üzere üç gruba ayrılır.

Hissedilir ısı depolayıcı malzemelerin ısı soğurma ve salma süreçleri sırasında belirgin bir sıcaklık değişimi vardır. Su, çelik ve taş geniş ölçüde kullanılan hissedilir ısı depolayıcı malzemelerdir. 1 standart atmosferde ve 1 °C ile 99 °C sıcaklık aralığında su en ucuz ve kullanışlı hissedilir ısı depolayıcı malzemedir. 1° C sıcaklık artışı için suyun soğurması gereken ısı 4.18 J/g'dır.

Gizil ısı depolama, ısı depolama şekillerinin en önemlisidir ve genellikle "faz değişimi ile ısı depolaması" olarak adlandırılır. Gizil ısı depolayıcı malzemeler 40 yıldan beri kullanılmaktadır. Su aynı zamanda bir gizli ısı depolayıcıdır. $0^{o}C$'de buz konumundan, su konumuna geçişte veya tersi durumda ısı salıverilir yada soğurulur.

Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) 1960'larda uzay laboratuarları için gizil ısı depolayıcı malzemelerin uygulama araştırmalarını hızlandırdı. Bu malzemeler, araçların korunmasını geliştirmek ve astronotların uzaydaki yüksek sıcaklık değişimlerine dayanmaları için kullanıldılar. Gizil ısı depolayıcı malzemeler, 1980'lerde Apollo15 görevi içinde, ay aracında ve Sky laboratuarı projesinde de kullanıldılar [25].

4.2.1. Faz Değiştiren Malzemelerle Dinamik Isı Yönetimi Olanakları

Gizli ısı depolayıcı malzemeler "faz değiştiren malzemeler" (FDM) olarak da adlandırılırlar. FDM ısıyı küçük bir sıcaklık değişimi ile bırakabilir ya da

soğurabilir. FDM sürekli olarak, ısıyı soğurmak, depolamak ve salmak için gizli erime ısılarını kullanarak katı ve sıvı fazlar arasında geçiş yapabilir. Gizli erime ısıları, malzemelerin hissedilir ısı kapasitelerinden daha büyüktür.

Malzemenin genelde üç hali vardır. Malzeme, bir halden diğerine geçtiğinde, bu süreç faz değişimi olarak adlandırılır. Dört çeşit faz değişimi vardır: 1. katıdan sıvıya, 2. sıvıdan gaza, 3. katıdan gaza, 4. katıdan katıya.

Faz değişimi sürecinde ısı salınır ya da soğurulur. Soğurulan ya da salınan ısı içeriğine gizli ısı adı verilir. Tekstil ve giysi üretiminde kullanılan FDM'lerin, ısıyı soğuran erime sıcaklığı aralığı 20 ile 40 °C, ısı salımı yapılan kristalleşme sıcaklık aralığı 30 ile 10 °C'dir. Faz değişim sıcaklığı bu aralıkta olan FDM'lere hidratlı inorganik tuzlar, polihidrik alkol-su çözeltileri, polietilenglikol (PEG), politetrametilenglikol (PTMG), alifatik polyester, düz zincirli hidrokarbonlar (parafinler), hidrokarbon alkoller, hidrokarbon asitleri vb. örnek olarak verilebilir.

Sıvıdan katıya ya da katıdan sıvıya geçebilen FDM'ler, ısı depolayıcı ya da ısı ayarlı dokuma kumaşların ya da giysilerin üretiminde en çok kullanılan gizli ısı depolayıcı malzemelerdir. Katı-sıvı ve katı-katı faz değiştiren malzemeler (FDM'ler), binalarda, elektronik aygıtlarda, güneş enerjisi ile çalışan çeşitli sistemlerde ve tekstil ürünlerinde ısı yönetiminde kullanılmak üzere araştırılmakta ve bir kısmı uygulama alanı bulmaktadır [14].

FDM'lerin kumaşa uygulanması ile kumaş sisteminin pasif yalıtım etkisinin yanı sıra aktif ısı yalıtımı da sağlanmış olur. Sıcaklık değişimlerine karşı tampon etkisi yapan FDM'lerin tekstil ürünlerine yönelik kullanımı, çevre koşullarına ve fiziksel aktiviteye bağlı olarak vücut sıcaklığında meydana gelen değişiklikleri en aza indirme amaçlıdır.

Herhangi bir FDM'nin tekstil ürünlerinde kullanılabilmesi için bir dizi koşulu sağlıyor olması gereklidir. Bunlardan başlıcaları: yüksek erime/hidratlaşma ısısı, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek özgül ısı kapasitesi, faz dönüşümü sırasında minimum hacim değişimi, uygun faz değişim sıcaklığı, faz dönüşümünün tekrarlanabilirliği, düşük korozyon ve bozunma eğilimi, zehirli ve yanıcı olmamak şeklinde sıralanabilir. Tablo 4.1 bazı FDM'leri ve bilinen termal özelliklerini göstermektedir.

Hidratlı inorganik tuzlar, bir organik tuz kristaliyle birlikte n adet su molekülünün bir araya gelmesiyle oluşur. Isı depolayıcı ya da ısı ayarlı dokuma kumaşların ya da giysilerin üretiminde kullanılan hidratlı inorganik tuzların ısı soğurma ve ısı salma sıcaklık aralığı 20 ila 40 °C arasındadır. Birkaç soğutma ısıtma döngüsünden sonra, liflerin yapısına katılmış ya da liflere uygulanmış olan çoğu inorganik hidrat tuzlarında uygunsuz erimenin ya da aşırı soğumanın meydana geldiği gözlenmiştir.

Tablo 4.1. Tekstillerde kullanılabilen bazı FDMler [14]

	Anorganik Hidrat Tuzları		Polietilen Glikoller		Düz Zincirli Hidrokarbonlar	
Faz Değiştiren Malzeme	$CaCl_2.6H_2O$	$Na_2SO_4.10H_2O$	PEG1000	PEG2000	n-octadecane	n-eicosane
Erime Noktası (°C)	29.00	32.00	35.10	53.19	28.20	36.60
Erime Isısı (kJ/kg)	190.00	225.00	137.31	178.82	242.44	246.62
Karbon Atomu Sayısı					18	20

Lityum nitrit trihidrat 25 döngüde, kalsiyum klorid heksahidrat yalnızca birkaç döngüde, sodyum sülfat dekahidrat yalnızca bir döngüde özelliğini yitirir. Tablo Tekstillere uygulanabilen bu tuzların kristal suyunu kaybedip geri kazanması işleminin tekrarlanabilirliği önemlidir.

Polyetilen glikol (PEG) en önemli FDMlerden birisidir. Eğer moleküler ağırlıkları 20000'nin altında ise PEG'in erime sıcaklığı, moleküler ağırlığı ile orantılıdır. 20000'in üstünde bir ortalama molekül ağırlığına sahip olan bir PEG'lerin erime sıcaklığı hemen hemen aynıdır. Molekül ağırlığı 800 ile 1500 arasında olan PEG'lerin erime noktası yaklaşık 33 °C'dir.

Düz zincirli hidrokarbonlar, petrol'ün rafine edilme işleminin bir yan ürünüdür ve formülü C_nH_{2n+2}'dir. FDM olarak kullanılan ve karbon sayısı n=16-21 arasında olan hidrokarbonların erime ve kristalleşme noktaları 10-40 °C sıcaklık aralığındadır.

Düz zincirli hidrokarbonlar, ucuz, zehirli olmayan, ham maddeler için geniş bir kaynak oluşturan ve çeşitli kullanımlara uygun olan malzemelerdir. Isı depolayıcı ya da ısı ayarlı dokuma kumaşların ya da giysilerin üretiminde en önemli FDM'lerdir.

4.3. Isı Depolayan ve Sıcaklık Ayarlayan Tekstillerin ve Giysilerin Üretimi

Isı depolayan ve sıcaklık düzenleyebilen fonksiyonel tekstiller ve giysiler yeni bir kavramdır ve 30 yıllık bir gelişim tarihi vardır. NASA, uzay giysiliklerinde gizli ısı kapasitesi yüksek malzemelerin uygulama olanaklarını 1960'larda araştırmaya başlamıştır. Bunlardan bir grubu, güneş ışınlarına duyarlıdır. Örneğin, yakın kırmızı ötesi ışına duyarlı bazı tekstiller, yakın kırmızı ötesi ışınları soğurur ve giysinin iç sıcaklığını arttırır. Uzak kırmızı ötesi ışına duyarlı tekstiller, vücudun yaydığı uzak kırmızı ötesi ışınları soğurur ve ısıl direnci arttırır. Mor ötesi ışına duyarlı tekstiller, mor ötesi ışınları soğururken, yakın kızıl ötesi ışınları yansıtabilmekte, böylece, giysinin iç sıcaklığını düşürmektedir. Çalışmanın amacının uzay görevleri sırasında astronotları ve aletleri karşılaştıkları ani olarak ve büyük miktarlarda gerçekleşen sıcaklık değişimlerine karşı daha iyi korumak olduğu söylenebilir.

4.3.1. Faz Değişim Malzemeleriyle ya da Plastik Kristallerle Doldurulmuş ya da Doyurulmuş Lifler

4.3.1.1. Hidratlı İnorganik Tuzlarla Doldurulmuş ya da Doyurulmuş Lifler

Vigo ve Frost, boşluklu yapay ipek liflerini $LiNO_3.3H_2O$, $Zn(NO_3)_2.6H_2O$, $CaCl_2.6H_2O$, $SrCl_2.6H_2O$ ve $Na_2SO_4.10H_2O$, $NaB_4O_7.10H_2O$ ile doldurdu. Lif gram başına, yapay ipeğin içindeki lityum nitrat trihidrat içeriği 9.5 gram olduğunda, bir, on ve elli ısınma-soğuma döngüsünden sonra –40 – 60° C sıcaklık aralığında sırayla ısınma ısısı 302.63, 312.24 ve 156.32 J/g ve soğuma ısısı 221.95, 176.39 ve 40.96 J/g olur. Açıkça ortadadır ki, lifin ısı kapasitesindeki düşüş, ısınma-soğuma döngülerinden sonra daha fazladır [14].

4.3.1.2. PEG İle Doldurulmuş ya da Doyurulmuş Lifler

Başlangıçta, boşluklu lifler içindeki bir çok inorganik tuz hidratı, boşluklu liflere ısı soğurucu ve salıcı özellikleri kazandırma konusunda etkili olduysa da, tekrarlanan soğutma ve ısıtma döngüleri karşısında güvenilir olmayan, zayıf termal davranışlar gösterdiler. 1983'te Vigo ve Frost, lifleri, ortalama molekül ağırlığı (ortalama MW) 400, 600, 1000 ve 3350 olan PEG'nin %57'lik (ağırlık/ağırlık) sulu çözeltisi ile doldurdu. Doldurulmuş lifler kurutulur. DSC tarafından alınan ölçümler göstermiştir ki, doldurulmuş boşluklu polipropilen liflerin ısı soğurma ve bırakma kapasiteleri, işlemden geçirilmemiş liflere göre 1.2 ila 2.5 kat fazladır ve doldurulmuş boşluklu

yapay ipeğin kapasitesi ise, işlemden geçirilmemiş olandan 2.2 ila 4.4 kat fazladır [14].

4.3.1.3. Polihidrik Alkol İle Doldurulmuş ya da Doyurulmuş Lifler

Vigo ve Frost boşluklu yapay ipek ve boşluklu polipropilen lifleri 2,2-dimetil-1,3-propandiol (DMP) ile doldurdu ve boşluklu olmayan yapay ipeği DMP ile doyurdu. Muamele edilmiş boşluklu polipropilen lifin ısı soğurma kapasitesi 72-102 °C sıcaklık aralığında 136.68 J/g'dı ve muamele edilmiş boşluklu polipropilen lifin ısı bırakma kapasitesi 77-47 °C sıcaklık aralığında 120.38 J/g'dı. 50 ısıtma soğutma döngüsünden sonra lifin ısı kapasitesinde bir düşüş olduğu pek belirgin değildir. Ne var ki bu lif, yüksek faz değişimi sıcaklığı nedeniyle elbise kumaşları için uygun değildir.

4.3.2. Kaplamalı Kumaşlar

4.3.2.1. PEG İle Kaplı Kumaşlar

PEG ve polihidrik alkoller, lifler/kumaşlar için ısı soğurucu ve salıcı olarak etkili olsalar da, yalnızca kumaşların yıkanmasının gerekmediği uygulamalar için uygundurlar; çünkü hala suda çözünebilir haldedirler. Vigo ve Frost 1985'te çapraz bağlı PEG ile kaplanmış kumaşları inceledi. PEG-600 ya da PEG-1000'in %50'lik sulu çözeltileri kullanılarak termal aktiviteye sahip pamuk, PET ve yün kumaşlar elde edildi. PEG-600 %50'lik sulu çözeltisi ile muamele edilmiş PET 60 °C'de 7 dakika kurutulan ve 160 °C'de 3 dakika bekletilen kumaşların ağırlık kazançları %42.9 olmuş ve on ısıtma soğutma döngüsünden sonra ayrımsal tarayıcı kalorimetri (DSC) ile yapılan ölçümlerde ısı soğurma kapasitesi 53.92 J/g olarak elde edilmiştir [26]. Buna karşın muamele edilmemiş polyester kumaşın ısı soğurma kapasitesi sadece 40-42 J/g kadar ölçülmüştür [14].

4.3.2.2. Mikrokapsüller İçeren Bir Bağlayıcı İle Kaplı Kumaşlar

Bryant, kumaşın termal özelliklerini iyileştirmek için bir kaplama kullandı. Kaplama, önceden belirlenmiş bir sıcaklıkta özel termal özelliklere sahip olan FDM ya da plastik kristallerle dolu, bütünleyici ve sızdırmaya dirençli mikrokapsüllerin içinde dağılmış olduğu bir polimer bağlayıcıyı içeriyordu. Zuckerman kumaşlar için bir kaplama bileşimi keşfetti; bu bileşim, bir polimer bağlayıcı içinde dağılmış, FDM

içeren ıslak mikrokapsüllerden, bir yüzey gerilimi düşürücüden, bir dispergatörden, bir köpük engelleyiciden ve bir kıvamlaştırıcıdan oluşuyordu [14].

Umible, dokunmuş bir polyesteri bir mikrokapsül karışımı ve polimer bağlayıcı ile kaplamıştı. Ortalama molekül ağırlığı 300-4000 olan PEG içeren mikrokapsüller ile bir poliakrilik bağlayıcının 1:1-3 (ağırlık) karışımından oluşan kaplama tabakası, kaplanmış kumaşın 7-11 °C'de ısı salması ve 28-31 °C'de ısı soğurması sağlanmıştır. Umible, bu kumaşların soğutucu ünitelerinde ve dağlarda çalışan işçilerin elbiseleri için uygun olduğunu düşünmüştür [14].

4.3.3. Lif Eğirme

Yukarıda sözü geçen yöntemlerle üretilmiş ısı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşların yıkanmaya direnç, dayanıklılık ve bakım konularında eksiklikleri vardır. Bu nedenle ısıl özellikleri iyileştirilmiş lif eğirme işlemi 1990'lardan bu yana hızlı bir şekilde gelişmiştir.

4.3.3.1. Kompozit Lif Eğirme

Bazı alifatik polyesterlerin erime noktaları 20-40 °C sıcaklık aralığındadır; ama kristalleşme noktalarının sıcaklık aralığı 40-10 °C'nin ötesindedir. Watanabe, çekirdek bileşen olarak iki alifatik polyester karışımı ve kaplama bileşeni olarak PET kullanarak ve ısı yalıtımlı elbiselere uygun ısı soğuran ve salan sentetik lif üretmek için lif eğirme işlemini uygulamıştır [14].

4.3.3.2. Bir Karışımla Lif Eğirme

Kompozit lif eğirme işleminde çekirdek bileşen olarak alifatik polyester ya da polieter kullanıldığında lif eğirme işlemini kontrol etmek zordur; çünkü onun erime viskozitesi çok düşüktür. Eğer alifatik polyester ya da polieter etilen kopolimeri ile karıştırılırsa, karışımın erime viskozitesi lif eğirme işlemi için yeterli olabilmektedir.

Zhang ve arkadaşları, PEG'nin tek başına ya da etilen-vinil asetatlı PEG'nin çekirdek bileşen olarak ve polipropilenin kaplama olara kullanıldığı durumda bunun lif olarak eğrilebilirliğini incelemişlerdir. Sonuçlar, PEG'nin tek başına ancak ortalama molekül ağırlığının 20000'in üstünde olması durumunda sıcaklıkla eğrilebileceğini gösterdi. Molekül ağırlığı 1000'den fazla olduğunda PEG ve 1:1 etilen-vinil (ağırlık/ağırlık) karışımı güzel bir şekilde eğrilebilmiştir [14].

4.3.3.3. Mikrokapsüllü Lif Eğirme

Mikrokapsülleri direk olarak lifin içine gömmek life ekstra bir dayanıklılık kazandırır; çünkü FDM iki tabaka tarafından korunur; birincisi mikrokapsüller tabakası ve ikincisi lifin kendisinin oluşturduğu çevre. Böylece, FDM'in sıvı fazdayken sızma olasılığı düşecek, ömrü ve termal tepkime tekrarlayabilirliği artacaktır.

Bryant ve Colvin, FDM'lerden ya da plastik kristallerden oluşan mikrokapsüller içeren bir lif üretmiştir. Bu lif, önceden belirlenmiş sıcaklıklarda termal özelliklerini arttırmıştır. Mikrokapsüller boyut olarak 1 ila 10 mikron arasında olabilir. Lifin üretiminde, istenilen mikrokapsüllerle donatılmış FDM'ler sıvı polimere, polimer çözeltisine ya da taban materyaline eklenir ve lif, kuru ya da ıslak eğirme ya da polimer eriyiklerinin kalıba dökülmesi gibi geleneksel metotlara göre kullanılır. Çalışmaların sonucuna göre, FDM'nin poliakrilik lif içindeki maksimum içeri %10, minimum filament inceliği 2.2 dtex olmuştur [25].

4.4. Isı Depolayıcı ve Isı Ayarlı Giysiler

Günümüze kadar ısı depolayıcı özelliği olan giysilerin ticari olarak üretilebilen bazı tiplerine aşağıda yer verilmiştir.

4.4.1. Su Dolaşımlı Giysiler

Bu çeşit giysiler genellikle çok sıcak ya da çok soğuk ortamlarda koruyucu giysiler olarak kullanılırlar. Genellikle duyarlı ısı depolama maddesi sudur. Elbisenin ya da elbisenin içine giyilen yeleğin içinde bulunan tüp sistemi içinde, soğuk ortamlarda sıcak, sıcak ortamlarda soğuk su dolaştırılır. Pille desteklenen bir pompa ile su elbise içine pompalanır. Bu tip ürünler on yıldır satılmaktadır.

4.4.2. Giysiye Bağlı FDM Keseleri

Bu elbiseler Mavleous ve Desy, Zhang, Colvin ve Imanari ve Yanatori tarafından dizayn edilmiştir. Isı depolama materyali olarak su yerine FDM kullanırlar. Bunlar, çok sıcak ya da çok soğuk çevrelerde vücudu soğutmak ya da ısıtmak için kullanılmışlardır.

4.4.3. Isı Depolayıcı ve Isı Ayarlı Dokuma Kumaş Giysiler

Isı depolayıcı ve ısı ayarlı liflerin ve dokuma kumaşların üretim teknolojileri geliştikçe yeni tipleri satışa sunulmuştur. Mitsui Şirketi tarafından üretilen PEG kaplı kumaşlar kayak ve spor elbiseleri için kullanılmıştır [27].

Outlast anonim ve Frisby anonim şirketi 1991'de, termal regülasyon teknolojisinin haklarını Bryant of Triangle Araştırma ve Geliştirme Şirketi'nden aldı. Bu tarihten sonra Oulast ve Frisby'deki bilim adamları farklı ürünlerde kullanılmak üzere ısı ayarlı materyelleri üretmek için sıkı bir çalışmaya giriştiler. Mikrokapsüllerle bir kumaşın yüzeyini kapladılar ya da poliakrilik liflerin içine direk olarak yerleştirildiler. Battaniyeler, uyku tulumu, iç çamaşırı, ceketler, spor kıyafetleri, çoraplar, kayak botları, kasklar vb. ısı depolayıcı ve ısı ayarlı diğer ürünler 1997'den beri dükkanlarda görünmeye başladı. Üretimleri giderek artmaktadır.

4.5. Isı Depolayıcı ve Isı Ayarlı Tekstillerin Başlıca Uygulama Alanları

Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşların ve elbiselerin olası uygulamaları geliştirilme aşamasındadır. Bu kumaşların bir çok olası son kullanım alanları vardır.

4.5.1. Günlük Kullanım

Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşlar günlük kullanımda kendilerine örneğin, kaplama kumaşı, astar kumaşı, çarşaf kumaşı olarak yer bulabilirler. Termal iç çamaşırlar, ceketler, spor elbiseleri ve kayak elbiseleri marketlerde yerini almıştır.

4.5.2. Profesyonel Giyim

Örnekler, itfaiyeci üniformaları, kurşun geçirmez yelekler, dalıcı giysileri, uzay giysileri, havacı elbiseleri, iş üniformaları, gemici kıyafetleridir. Aşırı derecede sıcak ya da soğuk sıcaklıklar için kullanılacak eldivenler araştırılmaktadır. Air Force One personeli artık ısı ayarlı uçuş eldivenleri kullanmaktalar.

4.5.3. İç Dekorasyon, Yatak Örtüleri ve Uyku Tulumları İçin Dokuma Kumaşlar

Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşlar, perde, yorgan, yorgan çarşafı ve çarşaf kumaşı olarak kullanılabilir. Şu anda uyku tulumu olarak kullanılmaktadırlar.

4.5.4. Ayakkabı Kaplaması

Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşlar giyenin kafası, vücudu, elleri ve ayaklarında çok yüksek sıcaklık değişikliklerini engellemek için ısıyı soğurabilir; saklayabilir; yeniden yayabilir ve bırakabilir. Kayak botları durumunda, ayaklar yüksek ısı ürettiğinde FDM bunu soğurur ve eğer ayaklar üşürse bunu soğuk noktalara gönderir. Bu ayağı konforlu bir durumda tutar.

4.5.5. Tıbbi Kullanım

PEG ile muamele edilmiş kumaşlar, cerrahi bandajlar, bebek bezleri ve idrarını tutamayanlar için olanlar ürünler gibi, sıvı transferinin ve antibakteriyel koşulların sağlanması gereken tıbbi ve hijyen koşullarda oldukça kullanışlıdır. Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşlar deri sıcaklığını belirli bir rahat sıcaklık aralığında tutar; böylece onlar yanıklar için bandaj ya da soğuk/sıcak terapilerde kullanılabilirler.

4.5.6. Yapı Materyalleri

Böyle dokuma kumaşlar, betonun, çatının ya da diğer yapı malzemelerinin içine emdirilmiş şekilde mimari yapılarda kullanılabilirler.

4.5.7. Diğer Kullanımlar

Bu tip kumaşlar arabanın içi için ya da akü ısıtıcıları olarak kullanılabilirler. Ayrıca tarımda ve jeotekstilde de kullanılabilirler.

4.5.8. Başarı Ölçütleri

Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşların üretimi, özellikleri ve uygulamaları 1980'lerden beri incelenmektedir; ama onların gelecekteki gelişiminin durumu pek açık değildir. Nefes alabilir membranların gelişiminde de (Gore-tex, Sympatex) görüldüğü gibi giyenin konforuna daha fazla önem verilmesi beklenmektedir [25].

Malzemenin ölü hava boşluklarında ısıyı hapsederek çalışan geleneksel ısı yalıtımlı kumaşlar, ısıyı olabildiğince uzun ve etkili şekilde saklamak üzere dizayn edilmişlerdir. Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaş ise geleneksel bir kumaş değildir; ya da daha etkili bir ısı yalıtımına sahip evrimsel bir kumaş da değildir. Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşlar ısındığınızda sizi soğutur; soğuduğunuzda sizi ısıtır. Ekstrem hava koşullarında size konforlu bir ortam sunar. Aslında bu

nedenle akıllı bir kumaştır. Sıcaklık şiddetli bir şekilde değiştiğinde, ısı depolayıcı ve ısı ayarlı elbisenin iç sıcaklığı 31° C ila 35° C arasındaki konfor sıcaklık aralığında sabitlenir.

Ne var ki ısı ayarlı elbiseler tarafından sunulan soğuk ya da sıcak havalara karşı olan özellikler, elbisenin yapılışına ya da çevrenin sıcaklığına bağlı olarak yalnızca belli bir süre için geçerli olabilir. Bu nedenle sürekli sıcaklığı değişmeyen çevreler yerine sıcaklığı sürekli olarak değişen ortamlar için daha uygundurlar. Ne var ki, soğrulan ısı çabuk verilmezse ya da salınan ısı çabuk soğrulmazsa kumaş ısı ayarlama yeteneğini kaybeder; bunu uzatmak için daha yapılması gereken çok şey vardır.

Isı depolayıcı ve ısı ayarlı poliakrilikliflerde FDM yükü maksimum %10'dur. Diğer bir deyişle lifin maksimum ısı içeriği 25 J/g'dır. Soğuk ya da sıcak havalara karşı olan ısı ayarlama özellikleri yalnızca belli bir süre için geçerli olabilir. Kumaşın maksimum ısı içeriği patentli uygulamalarda 40 J/g'dır ve teknolojik uygulamalarda 50 J/g'dır. Dokuma kumaşın içinde ne kadar fazla FDM bulunursa o kadar çok sıcaklık eşitlenme dayanıklılığına ulaşılır.

Çeşitli çalışmaların sonuçları göstermiştir ki, iç sıcaklığı etkili bir şekilde ayarlayan ısı ayarlı dokuma kumaşlar yeterli, yüksek ısı direncine sahip olması gerekir. Isı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşları hava hapsetme materyalleriyle birleştirme işlemi hala geleceğin araştırma alanları arasındadır.

Tekstillerin ısıl özelliklerini iyileştirmenin diğer bir yolu da Grup IV metal karbon geçiş bileşikleri kullanarak, kızıl ötesine yakın ışınların ısıya dönüştürebilmesidir. Eğer ZrC parçacıkları ısı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşlara eklenirse, onlar gün ışığında güneşin kızıl ötesine yakın ışınlarını soğurabilir ve bunu, dokuma kumaştaki FDM'i katı fazdan sıvı faza geçirecek ısıya dönüştürür. Dokuma kumaş, iç sıcaklık FDM'lerin kristalleşme noktasından düşük olduğunda ısısını bırakarak sıcaklığını sabit tutmaya çalışır.

Bazı poliakrilik ve poliakrilik-nitril kopolimerleri havadan nemi soğurabilir ve ısı salar. Bunlar iç ısıyı ve nemi ayarlayabilecek kumaşlara dönüştürülebilirler; ama böyle kumaşlar sınırlı nem soğurma özelliklerini uzun süre sürdüremezler. Eğer ısı depolayıcı ve ısı ayarlı dokuma kumaşlar nem soğuran kumaşlarla ince tabakalar halinde üst üste yerleştirilirse, birleşik kumaş ısıyı ve nemi soğurabilir ve iç

sıcaklıktaki çok yüksek sıcaklık değişimlerini engelleyebilir. Bu tip kumaşlar özellikle kayak ya da spor elbiseleri için uygundur.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Kullanılan Cihazlar

5.1.1. Baskı Makinası

Kaplama deneyleri için için blanket sabit, rakle hareketli çalışma sistemine sahip Mini MDF-R/598 model Johannes Zimmer marka laboratuvar tipi bir baskı makinesi kullanılmıştır. Rakle, blanket üzerinde manyetik mekanizma ile hareket etmektedir. Magnetizma derecesi ve raklenin hızı manuel olarak makinanın ön bölümünde bulunan ayar düğmeleri ile ayarlanabilmektedir. Ayrıca makinanın ön panelinde, makinayı açıp kapatan ana şalter, rakle basıncını ayarlayan 6 seviyeye sahip manyetik basınç düğmesi, blanket tahrigini veren düğme, blanketi ileri ve geri olmak üzere iki yöne hareket ettirten ayar düğmesi ve manyetizma derecesinin ayarlandığı 0-100 arasında onar onar artan seviyeye sahip manyetizma ayar düğmesi bulunmaktadır.

5.1.2. Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı

Deneylerde istenilen homojen bir sıcaklık dağılımı için iki adet ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. İstenilen çalışma sıcaklığı ve devri cihazın ön paneli üzerindeki göstergeler üzerinden ayarlanmaktadır. İstenilen sıcaklığa ulaşılana kadar ön panel üzerindeki ışık kuvvetlice yanmakta ve bu sıcaklığa ulaşıldığında ışık daha zayıf yanmaktadır. Daha sonra doğacak ısı kayıplarından dolayı sıcaklık düşecek olursa sistem tekrar istenilen sıcaklığa ulaşana kadar ısı almaktadır.

5.1.3. Etüv

Deney öncesi malzemelerin rutubetlerini kaybetmesi için kondüsyonlanmaları aşamasında ve kumaş üzerine kaplama malzemesinin fiksajı esnasında Elektro-mag M420P marka etüv kullanılmıştır. İstenilen çalışma sıcaklığı ve çalışma süresi cihazın ön paneli üzerindeki göstergeler üzerinden ayarlanmaktadır. Çalışma sıcaklığı ve kalan çalışma süresi dijital olarak okunabilmektedir.

5.1.4. Bilgisayar Destekli Sıcaklık Ölçüm Düzeneği

FDM ile kaplanmış kumaşların ve FDM ile muamele edilmiş elyafların zamana bağlı olarak sıcaklıklarındaki değişmeler, entalpi hesapları, farklı ürünlerin karşılaştırmalı sıcaklık ve entalpi değişimleri, bilgisayar destekli sıcaklık ölçüm düzeneği ile ölçülmüştür. Bu sistem, sıcaklık ölçümünü sağlayan iki adet Ni Cr - Ni termo elemandan (problardan), Windows işletim sistemine uygun yazılımından, kontrol panelinden ve gerekli bağlantı kablolarından oluşmuştur.

Şekil 5.1. Ölçüm düzeneği

5.1.5. Kalorimetre Kabı

Ortam ve tekstil malzemesi arasındaki ısı geçişi, kalorimetre kabı yardımı ile ölçülmüştür. Kalorimetre kabı yalıtımlı bir kaptır ve dolayısıyla çevre ile olan ısı geçişini minimize etmektedir. Kalorimetre kabına "Kalorimetre Kaplarının Su Cinsinde Ağırlığının Bulunması" başlığı altında yapılan deneyler bölümünde tekrar değinilecektir.

5.1.6. Su Banyosu

Su banyosu, deneylerde kullanılan malzemelerin, çalışma sıcaklığına getirilmesi ve bu sıcaklıkta tutulması için kullanılmıştır.

5.1.7. Tartı

Deney öncesi ve sonrasında malzemelerin ağırlıklarının ölçümünde ve her türlü malzemenin ve cihazın ağırlığının tespitinde Precisa 125 ASC marka ve Metter

PM4600 marka iki adet tartı kullanılmıştır. Ölçülen ağırlıklar dijital olarak okunabilmektedir. Precisa markalı tartının hassasiyeti 0,1 mg seviyesinde ve maksimum çekeri 125 g'dır. Metter markalı tartının maksimum çekeri ise 4700 g'dır.

5.1.8. Desikatör

Desikatör diğer adıyla nem tutucu, kurutulmuş deney numunelerini soğuturken havadan etkilenmemeleri için kullanılmıştır. Deney işlemleri için nemi alınan numuneler, yeniden nem kazanmamaları için desikatörde bekletilmiştir.

5.1.9. Diğer Malzemeler

Deneylerde ayrıca, 150 ml'lik, 250 ml'lik, 500 ml'lik, 1 L'lik beher, çeşitli boylarda huni, 250 ml'lik cam mezur, cam baget, %1 hassasiyette (-10)-(120)°C arası termometre, kaba süzgeç kağıdı, ince süzgeç kağıdı, çeşitli tüpler, lastik tıpalar, karıştırıcı, piset, gözlük, eldiven ve önlük gibi laboratuar malzemeleri kullanılmıştır.

5.2. Kullanılan Malzemeler

5.2.1. Seçilen FDMlerin Özellikleri

Faz değiştiren malzemelerin (FDM) gizli ısı depolayıcı malzemeler olduğu, bu malzemelerin özellikleri ve çeşitleri ayrıntılı bir şekilde Bölüm 4'te açıklanmıştı. Katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geçebilen faz değiştiren malzemeler sıcaklık ayarlı dokuma kumaşların ya da giysilerin üretiminde en çok kullanılan gizli ısı depolayıcı malzemeler olduklarını daha önce söylemiştik. Bu bilginin ışığı altında deneysel çalışmada beş çeşit FDM kullanılmıştır. FDMlerin seçiminde, uygun faz değişim sıcaklığı, faz dönüşümünün tekrarlanabilirliği, düşük korozyon ve bozulma eğilimi, zehirli ve yanıcı olmaması gibi özellikleri de FDMlerin seçiminde göz önünde tutulmuştur. Bu gibi parametreler düşünülerek deneylerde hidrat tuzları ve polialkoller tercih edilmiştir. Hidrat tuzları ve polialkoller hakkında ayrıntılı bilgi yine Bölüm 4'te ele alınmıştır.

5.2.1.1. İnorganik Hidrat Tuzları

Deneylerde iki çeşit hidrat tuzu kullanılmıştır. Bunlardan birtanesi karbonat bileşikli hidrattuzu ($Na_2CO_3.10H_2O$), diğeri ise sülfat bileşikli hidrat tuzudur ($Na_2SO_4.10H_2O$). Aşağıdaki tabloda kullanılan hidrat tuzlarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan hidrat tuzlarının özellikleri

	$Na_2CO_3.10H_2O$	$Na_2SO_4.10H_2O$
Molekül Ağırlığı (g/mol)	286,011	322,19
Özkütle (20 °C) (g/cm³)	1,44 (katı)	1.464 (katı)
Erime Noktası	33	32,4
Erime Isısı (J/g)	208	225
Öz Isısı (J/g °K)	3,032	1.760 (katı) 3,300 (sıvı)
Çözünürlük (20 °C) (g/l)	210	420
PH değeri (50g/l, H_2O, 20 °C)	11-12	5,5-7,5

5.2.1.2. Polialkoller

Deneylerde faz değiştiren malzeme olarak farklı molekül ağırlıklarına sahip üç çeşit polietilenglikol (PEG) kullanılmıştır. Bu polialkollerin özellikleri Tablo 5.2'te verilmiştir.

Tablo 5.2. Kullanılan polialkol çeşitlerinin özellikleri

	PEG 600	**PEG 1000**	**PEG 1500**
Molekül Ağırlığı (g/mol)	600	1000	1500
Özkütle (20 °C) (g/cm³)	1,127	1,093	1,093
Erime Noktası (°C)	20-25	35-40	43-50
Erime Isısı (J/g)	121,14	137,31	155
Öz Isısı (J/g °K)	2,49	2,25	2,25
Suda Ağırlıkça % Çözünme	100	70	70
PH değeri (50g/l, H_2O, 20°C)	5,5-7,0	5,0-7,0	5,0-7,0

5.2.2. Kaplama Malzemesinin Özellikleri

Faz değiştiren malzemeler, kaplama malzemesi ile birlikte çapraz bağlayıcılar ile kumaş üzerine kaplanmıştır. Aşağıda deneylerde kullanılan, kaplama malzemesinin ve çapraz bağlayıcının (fiske malzemesinin) özellikleri verilmiştir.

5.2.2.1. Kaplama Maddesi

Kullanılan kaplama malzemesi mikro gözenekli olup köpük kaplama üretiminde kullanılan polimer bir bileşiktir. Sulu, poliüreten esaslı, beyaz renkli ve orta viskoziteye sahip olan bileşik, negatif yüklü olup pH değeri 9.5 ile 10 arasındadır.

5.2.2.2. Fikse Maddesi

Kaplamada kullanılan fikse malzemesi, sıcaklığa bağlı olarak (özellikle 120°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda) çapraz bağların oluşumunu artıran sentetik bir dispersiyondur. Renksiz görünümde ve noniyonik bir karaktere sahip olup sıcaklığın yükselmesi ile viskozitesi düşmektedir. pH değeri 8-9 olan fiske malzemesi su ile istenilen oranlarda karıştırılabilmektedir.

5.2.3. Tekstil Malzemelerinin Özellikleri

Deneylerde tekstil malzemesi olarak kesikli suni elyaf ve dokuma kumaş kullanılmıştır. Elyaf olarak %100 polyester (PET) içi boş (hallowfiber), kesikli lif kullanılmıştır.

Kumaş olarak ise iki çeşit kumaş kullanılmıştır ve kumaş özellikleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Deneylerde kullanılan kumaş numuneleri, boyutları kumaşın çözgü yönünde 40 cm, atkı yönünde 30 cm kesilerek hazırlanmıştır.

Tablo 5.3. Kumaş özellikleri

Kumaş Cinsi	**%100 PA**	**%50 PET - %50 COT**
İplik Numarası (Atkı)	233 Denye	Ne 31/1
İplik Numarası (Çözgü)	65 Denye	80 Denye
Atkı Sıklığı (atkı/cm)	27	34
Çözgü Sıklığı (çözgü/cm)	78	71
Gramaj (g)	130.3	147.24
Örgü Raporu	Bezayağı	Bezayağı

5.3. Uygulanan Deneyler ve Ölçüm Metotları

Deneylerde, özgül ısı kapasitesi ve erime ısısı yüksek olan FDM'ler insan vücudunun konfor sıcaklık aralığında işlevsel olacak şekilde, iki yolla tekstil malzemelerine katılmıştır. Birinci yöntem kesikli içi boş PET liflerinin inorganik hidrat tuzu içeren çözeltilerle muamele edilmesi, diğer yöntem ise FDM içeren kaplama malzemesinin kumaşlara tatbik edilmesi şeklinde olmuştur. FDM katılmış ürün ile insan vücudu arasında mikroiklimlendirmenin sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak bu çalışma kapsamındaki deneyler, seçilen uygun FDM'lerin özelliklerinin ve tekrarlanabilirliğinin tespiti, kumaşların FDM'li malzeme ile kaplanması, liflerin FDM'li çözelti ile muamele edilmesi, elde edilen FDM'li tekstil ürünlerinin termal özelliklerinin FDM katılmamış olan benzerleri ile karşılaştırılarak incelenmesini içermektedir.

5.3.1. FDM'lerin Özelliklerinin Tespiti

Yapısında FDM bulunduran bir giysi sisteminin, kullanımı sırasında vücutta görülecek olan terleme ve soğuma çevrimleri karşısında, kullanıcının ihtiyaçlarını daha uzun süre karşılayabilmesi beklenmektedir. Bu açıdan FDM'nin ısınma-soğuma çevrimi ile suyunu verip geri kazanmasının tekrarlanabilirliğinin tespit edilmesi ayrı bir önem taşımaktadır. Buradan hareketle çalışmada kullanılacak olan polialkollerin ve hidrat tuzlarının ısınma-soğuma çevrimleri ve hidrat tuzlarının suyunu verip geri kazanmasının tekrarlanabilirliği deneylerle gözlenmiştir.

Bu deneyler esnasında bir adet manyetik karıştırıcılı ısıtıcılı, her bir madde için birer tüp, bir adet beher, bir adet tüp askısı ve sıcaklık ölçümü için bilgisayar destekli sıcaklık ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Hidrat tuzları için 5 g, polialkoller için 10g tartılarak tüplerin içerisine konulmuştur. Deney için hazırlanan tüp, tüp askısı ile sabitlenmiş ve 400 ml su bulunduran manyetik karıştırıcılı ısıtıcının üzerindeki beherin içerisine yerleştirilir. Sıcaklık ölçümü için termo elemanlardan bir tanesi tüpün içerisine diğeri ise suyun içerisine konmuştur. Deney düzeneği tamamıyla hazırlandıktan sonra ısıtma çevrimi için magnetik karıştırıcılı ısıtıcı çalıştırılmış ve hemen ardından bilgisayarlı ölçüm düzeneği ile ölçümler alınmaya başlanmıştır. Soğutma çevrimi için ise soğutma buz kalıpları ile sağlanmıştır. ısıtma işleminin tamamlandığı sıcaklık noktasından soğutma işlemine başlanmış ve değerler bilgisayarlı ölçüm düzeneği ile kaydedilmiştir. Isıtma-soğutma çevriminde sıcaklık

aralığı, malzemenin tamamıyla faz değiştirmesi sağlanacak şekilde seçilmiştir. Tüm FDMler için ısıtma-soğutma çevriminin 10' ar tekrarı yapılmıştır. Faz değiştiren malzemelerin özelliklerinin tespiti deneylerinde kullanılan madde miktarları Tablo 5.4'da verilmiştir. FDM özelliklerinin tespiti deneylerinin sonuçları Bölüm 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.4. FDM özelliklerinin tespitinde kullanılan madde miktarları

Madde Adı	**Madde Miktarı** (g)	**Su Miktarı** (ml)
$Na_2SO_4.10H_2O$	5	400
$Na_2CO_3.10H_2O$	5	400
PEG 600	10	400
PEG 1000	10	400
PEG 1500	10	400

5.3.2. Liflerin FDMli Çözeltilerle Muamele Edilmesi

Bu deney kapsamında içi boş polyester liflerinin inorganik hidrat tuzları ile bunların çözeltileriyle muamele edilmeleri amaçlanmıştır. Deneylere başlamadan önce kullanılacak olan 2' şer gramlık PET lifleri terazide tartılıp net ağırlıkları not edilmiştir. Daha sonra etüvde 105 °C'de ve 4 saat nemi alınmak amacıyla bekletilmiş ve daha sonra desikatöre alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve hemen ardından tartılmıştır. Numunelerin not edilen etüv öncesi ve etüv sonrası ağırlıkları ile %nem tayini yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.5'de verilmiştir. Tartımişleminden sonra numunelerin yeniden nem kazanmaması için, numuneler deneyler için desikatörde bekletilmiştir. Desikatörün dip kısmına, etüvde 105°C'de 5 saat kurutulmuş 1 kg silika jel konulmuş ve desikatörün ağız kısmına vazelin sürülmüştür.

Numunelerin %nem tayini;

$$\frac{\text{Etüv öncesi ağırlık - Etüv sonrası ağırlık}}{\text{Etüv öncesi ağırlık}} \times 100 \qquad (5.1)$$

formülü ile tespit edilmiştir.

Tablo 5.5. Numunelerin etüv öncesi ve sonrası ağırlıkları ve %nem değerleri

	$Na_2SO_4.10H_2O$ ile muamele edilen numuneler			$Na_2CO_3.10H_2O$ ile muamele edilen numuneler		
	1. numune (1. tekrar)	2. numune (2. tekrar)	3. numune (3. tekrar)	1. numune (1. tekrar)	1. numune (2. tekrar)	1. numune (3. tekrar)
Etüv öncesi ağırlık (g)	2.0031	2.0005	2.0018	2.0020	2.0004	2.0005
Etüv sonrası ağırlık (g)	2.0002	1.9936	1.9941	1.9980	1.9965	1.9946
%Nem Miktarı	0.14	0.34	0.38	0.2	0.19	0.29

Doldurulacak inorganik hidrat tuzlarının oda sıcaklığında 100 ml su içerisinde doygun çözeltisi beher içinde hazırlanmış ve tartılmıştır.

Doygun çözeltiler hazırlandıktan sonra, desikatörden alınan elyaf üzerine doygun çözelti ilave edilmiştir ve cam baget ile tümliflere nüfuzuyeti sağlamak amacıyla cam başet ile karıştırılmıştır. Bu işlemden sonra beherin ağzı kapatılıp ve yaklaşık 48 saat bekletilmiştir.

Bu süre sonunda inorganik hidrat tuzları ile doldurulmuş numuneler kaba süzgeç kağıdı ile süzülmüş ve oda sıcaklığında 24 saat bekletilerek kurutulmuş ve tartılmıştır. Tablo 5.6'da bu tartım değerleri gösterilmiştir.

Tablo5.6 Numunelerin hidrattuzu çözeltileriyle muamele öncesi ve sonrası ağırlıkları

	$Na_2SO_4.10H_2O$ ile muamele edilen numuneler			$Na_2CO_3.10H_2O$ ile muamele edilen numuneler		
	1. numune (1. tekrar)	2. numune (2. tekrar)	3. numune (3. tekrar)	1. numune (1. tekrar)	1. numune (2. tekrar)	1. numune (3. tekrar)
Muamele öncesi ağırlık (g)	2.0002	1.9936	1.9941	1.9980	1.9965	1.9846
Muamele sonrası kuru ağırlık (g)	2.3870	2.4090	2.4242	2.1871	2.1702	2.1619

Süzme sonrası kuruyan numuneler 4'e bölünmüştür. Yaklaşık 0,5 gramlık numunelerden, biri hiç yıkanmadan diğer üçü saf su ile sırasıyla bir kez, iki kez üç kez yıkanmak suretiyle ayrı ayrı tartılarak hazırlanmıştır. Yıkama işlemi için

numuneler süzgeç kağıdı ile kaplanmış hunilerin içerisine yerleştirilmiştir. Yıkama su miktarı bir kez yıkama için 100 ml olarak belirlenmiştir. Yıkanmamış ve farklı sayıda yıkanmış numuneler kaba süzgeç kağıdına sarılarak, kurutulmuş, kondüsyonlanmış ve tartılmıştır. Tartım sonuçları Tablo 5.7 ve Tablo 5.8'de verilmiştir. Tüm numuneler kalorimetre deneylerini yapmak üzere ayrılmış ve kodlanmıştır. Yapılan tüm deneyler kontrol amaçlı ve deney tekrarlılığını sağlamak amacıyla üç kere tekrarlanmıştır.

Tablo 5.7. Sodyum sülfat bileşikli hidrat tuzu çözeltileriyle muamele edilmiş numunelerin yıkama öncesi ve sonrası ağırlıkları

$Na_2SO_4.10H_2O$ ile muamele edilen numuneler		Açıklama	Yıkama öncesi ağırlık (g)	Yıkama sonrası ağırlık (g)	Yıkamayla uzaklaşan madde miktarı (g)	% Ağırlık Kaybı
1. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	0.5894	---	---	---
	2. parça	1 kere yıkanmış	0.5810	0.5073	0.0737	12.68
	3. parça	2 kere yıkanmış	0.5900	0.5081	0.0819	13.88
	4. parça	3 kere yıkanmış	0.5953	0.5035	0.0918	15.42
2. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	0.5802	---	---	---
	2. parça	1 kere yıkanmış	0.6047	0.5285	0.0762	12.60
	3. parça	2 kere yıkanmış	0.6020	0.5171	0.0849	14.10
	4. parça	3 kere yıkanmış	0.6053	0.5109	0.0944	15.59
3. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	0.5938	---	---	---
	2. parça	1 kere yıkanmış	0.6111	0.5364	0.0747	12.22
	3. parça	2 kere yıkanmış	0.6015	0.5160	0.0855	14.21
	4. parça	3 kere yıkanmış	0,6153	0.5163	0.0990	16.09

Tablo 5.8. Sodyumkarbonat bileşikli hidrat tuzu çözeltileriyle muamele edilmiş numunelerin yıkama öncesi ve sonrası ağırlıkları

$Na_2CO_3.10H_2O$ ile muamele edilen numuneler		Açıklama	Yıkama öncesi ağırlık (g)	Yıkama sonrası ağırlık (g)	Yıkamayla uzaklaşan madde miktarı (g)	% Ağırlık Kaybı
1. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	0.5456	---	---	---
	2. parça	1 kere yıkanmış	0.5451	0.5198	0.0253	4.64
	3. parça	2 kere yıkanmış	0.5455	0.5082	0.0373	6.84
	4. parça	3 kere yıkanmış	0.5326	0.4872	0.0454	8.52
2. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	0.5304	---	---	---
	2. parça	1 kere yıkanmış	0.5420	0.5182	0.0238	4.39
	3. parça	2 kere yıkanmış	0.5434	0.5095	0.0339	6.24
	4. parça	3 kere yıkanmış	0.5437	0.4980	0.0457	8.40
3. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	0.5300	---	---	---
	2. parça	1 kere yıkanmış	0.5415	0.5174	0.0241	4.45
	3. parça	2 kere yıkanmış	0.5403	0.5024	0.0379	7.01
	4. parça	3 kere yıkanmış	0,5413	0.4947	0.0466	8.61

5.3.3. Kumaşların Kaplanması

Bu deney kapsamında, iki farklı tipte kumaşın FDM içeren ve içermeyen kaplama malzemeleri ile kaplanması amaçlanmıştır.

Uygun kaplama işlemi için blanket sabit, rakle hareketli çalışma sistemine sahip laboratuar tipi bir baskı makinesi kullanılmıştır. Rakle profili olarak yuvarlak ağızlı rakle kullanılmıştır. Rakle blanket üzerinde manyetik mekanizma ile hareket etmektedir. Magnetizma derecesi ve raklenin hızı manuel olarak ayarlanabilmekte ve deney esnasında tüm numuneler için bu değerler sabit tutulmuştur. Numune boyutları blanketin tamamını kaplamadığından raklenin geçiş hızı düşük tutulmuştur. Magnetizma derecesi, raklenin kumaşa yaptığı basıncı belirlemekte olup, bu durum

direkt olarak kumaşa kaplama malzemesinin ne kadar nüfuz edeceği ile ilgilidir. Bu ayar orta seviyede ayarlanmıştır. Yani rakle ile kumaş teması nın ne çok gevşek ne de çok sert olması istenmiştir.

Kaplama işlemi için kumaş numuneleri daha önce belirtildiği gibi 30x40cm(enxboy) boyutlarında hazırlanmış olup, etkin bir kaplama için baskı makinesinde blanket üzerinde bir bant vasıtasıyla sabitlenmiştir. Hazırlanan kaplama malzemesi raklenin gidiş yönünün tam önüne, rakle boyunca basit bir pompa yardımıyla manuel olarak yerleştirilmiştir. Daha sonra raklenin hareket mekanizması çalıştırılarak kaplama malzemesi kumaşa aktarılmıştır. Raklenin bir kez gidip gelmesiyle kaplama malzemesi tam olarak kumaşa aktarılmadıysa bu işlem istenilen sonuç elde edilen kadar tekrar edilmiştir. Fakat pasaj (raklenin bir gidip gelme hareketi) üç kereyi geçmemiştir; çünkü, magnetizma hareketi nedeni ile blanket ısınmakta ve bu sıcaklık artışı malzemenin viskozitesini etkilemekte yani viskozitenin düşmesine neden olmaktadır. Kaplama öncesi ve sonrası tüm deney numunelerinin ağırlıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Kaplama işlemi sonrası kaplama malzemesinin kumaşa fiske olması için deney numuneleri etüvde kurutulmuştur. Kurutma süresi 6 saat olarak belirlenmiş ve kurutma sıcaklığı kademeli olarak 100 °C' den 120 °C'ye çıkarılmıştır.

5.3.3.1. FDM'li ve FDM'siz Kaplama Reçetesi

Kaplama işlemi için sık dokunmuş, %100 PA ve %50PET-%50COT kumaşlar kullanılmıştır. Herbir kumaş çeşidinden 8 numune hazırlanmış olup herbir numunenin kaplama öncesi ve sonrası ağırlıkları kaydedilmiştir. Tablo 5.9'da bu değerler belirtilmiştir.

8 numunenin herbiri için farklı kaplama reçetesi hazırlanmıştır. Hazırlanan kaplama kreçeteleri Tablo 5.10'da gösterilmiştir. Ana kaplama malzemesini temin ettiğimiz firmanın önerisi doğrultusunda, kumaş üzerine uygulanan toplam kaplama malzemesinin, kumaş ağırlığının (g/m^2) %50-100 arasında olması göz önünde bulundurulmuştur. Kaplama reçetesinde ana kaplama malzemesi(tubicoat), fiksaj malzemesi ve FDM olmak üzere üç madde kullanılmıştır. FDM malzemesinin etkinliğini daha iyi gözlemleyebilmek için kullanılan herbir FDM çeşidinden FDM-az ve FDM-çok olmak üzere kaplama karışımını içerisinde iki oranda kullanılmıştır.

FDM'nin kaplama içindeki miktarı, kaplama malzemesinin yani Tubicoat'ın FDM-az için %15'i , FDM-çok için ise az olanın iki katı olan %30'u kadardır. Fiksaj malzemesi ise Tubicoat'ın yaklaşık %4'ü kadar kaplama maddesinin içinde kullanılmıştır.

Tablo 5.9. Kumaş numunelerinin kaplama öncesi ve sonrası ağırlıkları

	%100 PA Kumaş		%50 PET- %50 COT Kumaş	
	Kaplama Öncesi Ağırlık (g)	Kaplama Sonrası Ağırlık (g)	Kaplama Öncesi Ağırlık (g)	Kaplama Sonrası Ağırlık (g)
1. numune (Kaplamasız)	15.38	---	17.85	---
2. numune (Pegsiz)	14.98	19.71	17.56	23.45
3. numune (Peg600-az)	15.24	22.27	17.74	27.48
4. numune (Peg600-çok)	15.36	26.29	17.59	30.41
5. numune (Peg1000-az)	15.65	22.44	17.53	26.88
6. numune (Peg1000-çok)	15.30	23.21	17.51	29.40
7. numune (Peg1500-az)	15.38	22.33	17.70	27.15
8. numune (Peg1500-çok)	15.27	22.16	17.77	30.03

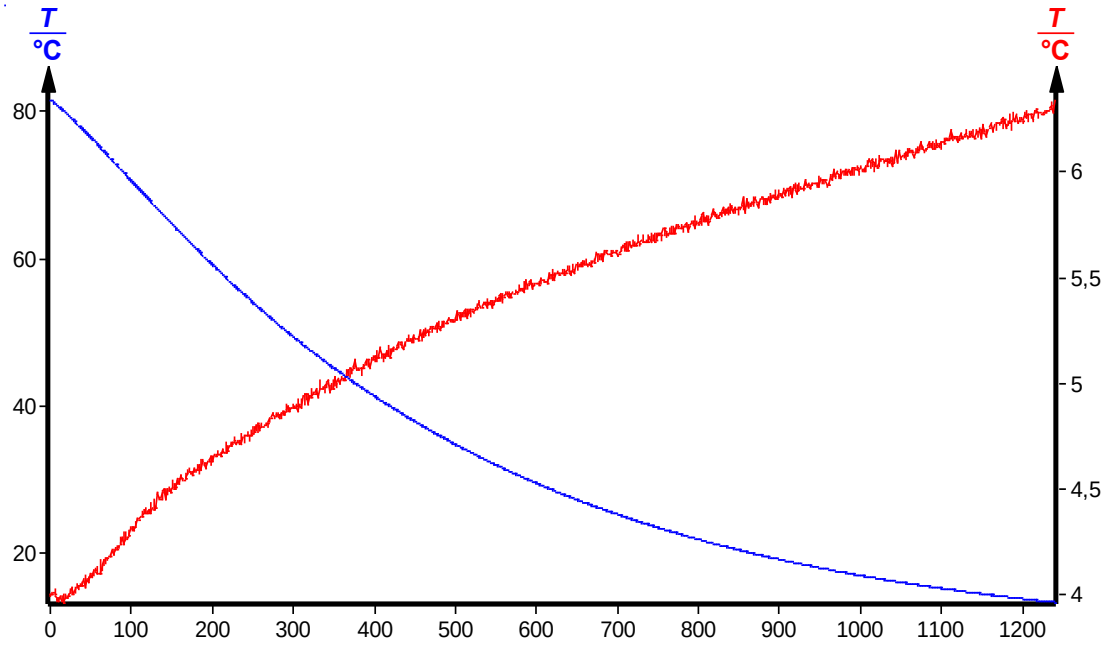
Tablo 5.10. Kaplama Reçeteleri

Deney Adı	FDM		Tubicoat (g)	Fiksaj Maddesi (g)
	Cinsi	Miktarı (g)		
Pegsiz	---	---	15	0.6
Peg600-az	Peg600	4.5	15	0.6
Peg600-çok	Peg600	9.0	15	0.6
Peg1000-az	Peg1000	4.5	15	0.6
Peg1000-çok	Peg1000	9.0	15	0.6
Peg1500-az	Peg1500	4.5	15	0.6
Peg1500-çok	Peg1500	9.0	15	0.6

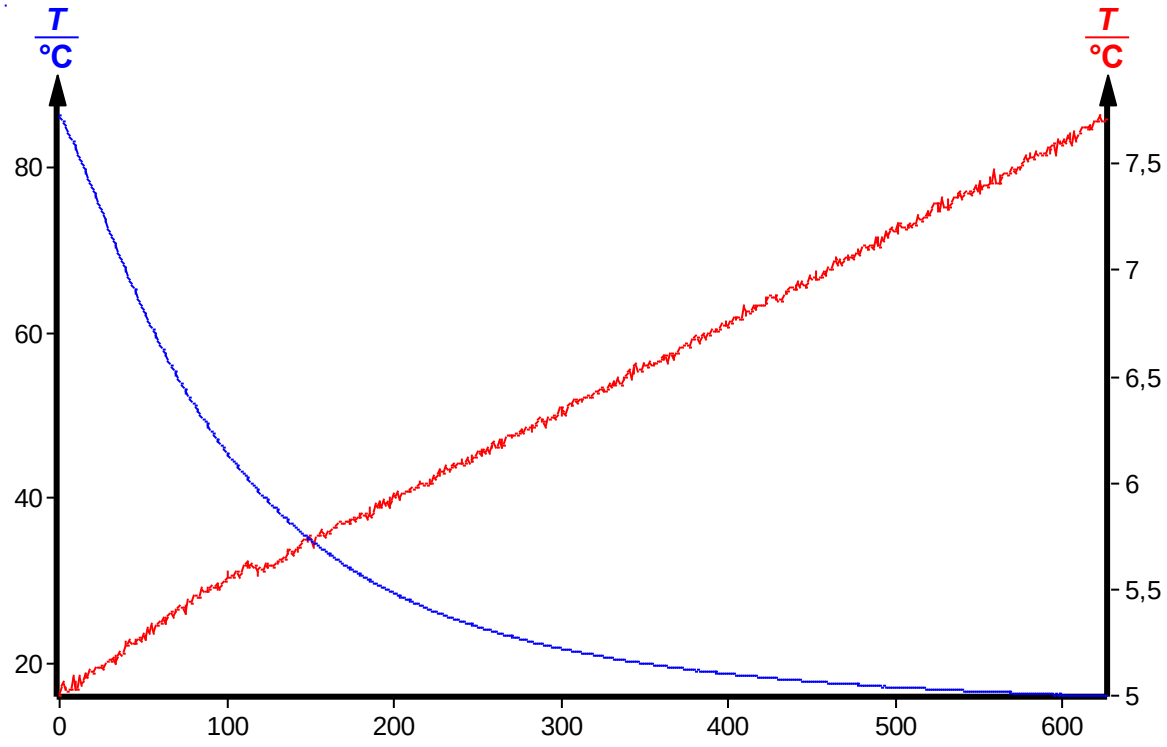
5.3.4. Malzemelerin Özgül Isı Değerlerinin Ölçülmesi

Deney numunelerinin özgül ısı değerlerinin ölçülmesi için soğuk ortam-sıcak malzeme esasına dayanan kalorimetre kabı ile bir deney düzeneği kurulmuştur. Numuneler bir cam baget yardımıyla ısıya dayanıklı cam tüplerin içine

yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçüm düzeneğine ait bir numaralı termo eleman elyafın yada kumaşın sıcaklığını ölçmek için tekstil malzemesi ile temas edecek şekilde tüpün içine sokularak tıpa ile sabitlenmiş ve bu sayede hava alması engellenerek ısı kaybı da en aza indirilmiştir. Sıcak malzemenin elde edilmesi için, içinde numune bulunan cam tüp, ayaklı kıskaca tutturularak, ısıtıcı üzerinde bulunan su dolu beherin içinde sıcaklık yaklaşık olarak 80-90 °C aralığındaki bir değere ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. İstenilen sıcaklığa ulaştıktan sonra, tüp beherin içerisinden maşa yardımıyla çıkarılıp, daha önceden hazırlanan kalorimetre kabına konulmuştur. Kalorimetre kabında yaklaşık 3-5° C sıcaklığında saf su bulunmuş, suyun miktarı ön denemelerin ertesinde kumaş deneyleri için 700 ml, elyaf deneyleri için ise 150 ml olarak belirlenmiştir. Bilgisayarlı sıcaklık ölçüm düzeneğine ait ikinci termo eleman kalorimetre kabının içerisindeki saf suyun sıcaklığını ölçmek üzere sabit bir şekilde yerleştirilmiştir. Deney esnasında olabilecek tüm enerji kayıpları için gereken önlemler alınıp gerekli yalıtım yapılmıştır. Sıcak tüp, kalorimetre kabındaki suyun içerisine konulduğu anda ölçüm başlatılmıştır. Öncelikle tekstil malzemesi ve su arasında denge sıcaklığına ulaşıncaya kadar beklenmiş ve bu esnada sıcaklıklar her saniyede ölçülmüş ve kullanılan program tarafından veri olarak otomatik kaydedilmiştir. Yaklaşık olarak denge sıcaklığına ulaşıldığı anda ölçüm durdurulmuştur. Ancak bu ölçüm sisteminde ısı alışverişi yapan ortamlar arasında denge sıcaklığına ulaşmak uzun bir süre almış (en az 3 saat) ve bundan dolayı sistemdeki istenmeyen enerji kayıpları arttığı gözlenmiştir. Bundan dolayı deneylerde ölçüm süreleri kısaltılarak, denemeler denge sıcaklığına ulaşmadan önce sona erdirilmiştir. Bu süre kumaşlar için 20 dakika, elyaflar için ise 10 dakika olacak şekilde seçilmiştir. Grafiklerde önce regresyon analizi yapılıp sonra iki grafik arasında interpolasyon uygulanarak denge sıcaklığı bulunmuştur ve bu veriler daha sonraki hesaplamalarda kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Aşağıda kumaş ve elyafla yapılan deneylere ait bilgisayarlı ölçüm sisteminden elde edilen grafiklere birer örnek gösterilmiştir. Grafiklerde mavi renkli eğri deney numunesine, kırmızı renkli eğri ise suya aittir.



Sekil 5.2. %100 PA kumaşa ait 5 nolu deney numunesinin kalori metre kabı-bilgisayar sisteminden elde edilen sıcaklık denge grafiği



Sekil 5.3. $Na_2CO_3.10H_2O$ ile muamele edilmiş 1. deney numunesinin yıkanmamış 1. parçasına ait kalori metre kabı-bilgisayar sisteminden elde edilen sıcaklık denge grafiği

Hesaplanan denge sıcaklıları, deney numunelerinin özgül ısı (c) değerlerinin alınan ve verilen ısı dengesi yardımıyla hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu sonuçlar ve hasaplama yöntemi sonuçlar bölümünde yer almaktadır. Hesaplamalarda kullanılan deney gereçlerin ağırlıkları ve özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 5.11).

Tablo 5.11. Deney gereçlerin ağırlıkları ve özellikleri

	Ağırlık (g)	Su Cinsinden Ağırlık (g)	C (J/g°C)
1. Kalorimetre Kabı ve Kapağı	773.08	136.57	---
2. Kalorimetre Kabı ve Kapağı	154.59	101.08	---
Cam Tüp 1	52.56	---	0.84
Cam Tüp 1	29.29	---	0.84
Lastik Tüp Kapağı 1	7.06	---	2.01
Lastik Tüp Kapağı 2	10.6	---	2.01

5.3.5. Kalorimetre Kabının Su Cinsinden Değerinin Bulunması

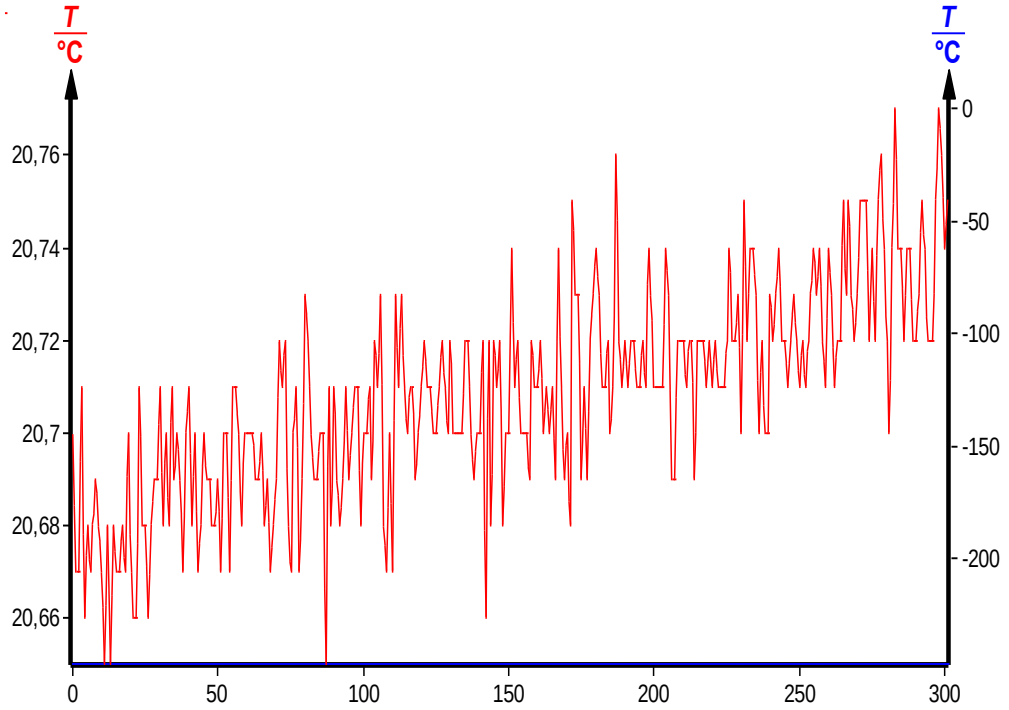
Kalorimetri, fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu görülen enerji geçişinin belirlenmesidir. Isı geçişi de kalorimetre kabı adı verilen bir alet yardımı ile ölçülür. Isı, iki yapı arasındaki enerji geçişini belirtirken; sıcaklık, bir yapının diğerine göre bağıl olarak karşılaştırılmasıdır. İki yapı arasıdaki enerji geçişinin yönü yüksek sıcaklıkta olandan düşük sıcaklıkta olana doğrudur.

Özgül ısı (c) ise bir maddenin bir gramının sıcaklığını bir °C yükseltmek veya azaltmak için verilmesi yada alınması gereken ısı miktarıdır. Bir maddenin sıcaklık değişimi altında, verilmesi gereken ısı miktarı şu formüle göre belirlenir [29]:

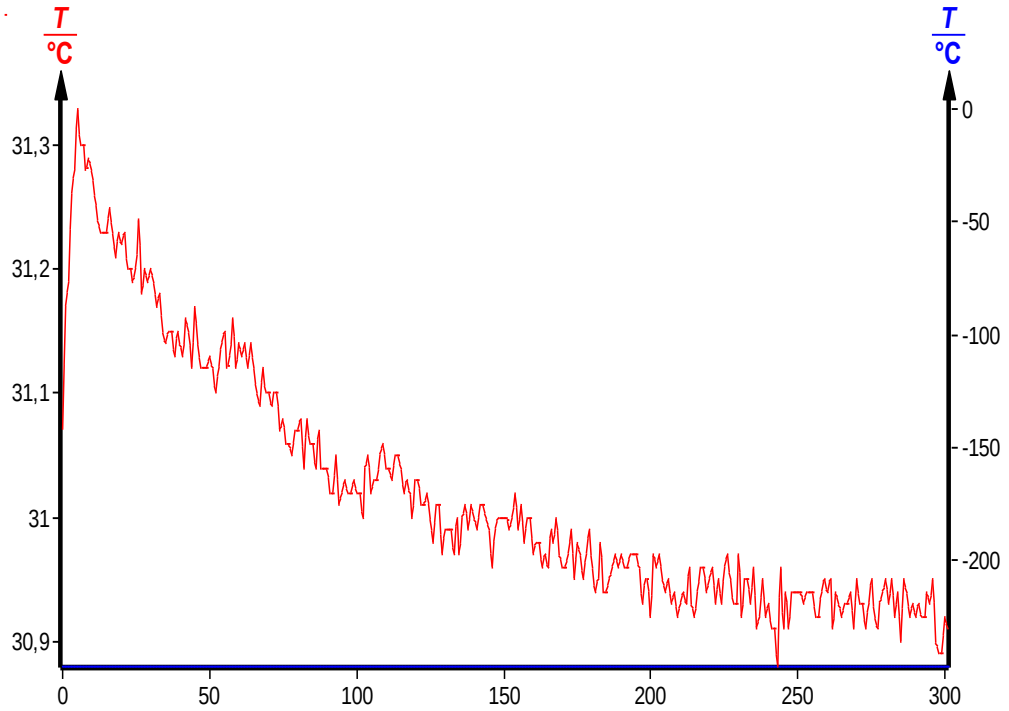
$$Q = m \times c \times \Delta T \qquad (5.2)$$

Malzemelerin özgül ısı değerlerinin ölçümlerinin hesaplamalarında işlemi kolaylaştırmak için kalorimetre kabının su cinsinden ağırlığı bulunmuştur. Bu deneyde kalorimetre kabının içine iç hacminin 2/3'ü kadar oda sıcaklığında su konmuştur ve 5 dakika boyunca her dakikada bir suyun sıcaklığı bilgisayarlı ölçüm sistemi ile termo eleman vasıtasıyla ölçülmüş ve not edilmiştir. Daha sonra 5. dakikanın sonunda kabın kalan bölümü yani 1/3'lük kısmı 55 °C sıcaklığa sahip su ile doldurulmuştur. Daha sonra 5 dakika süre daha her saniyede bir sıcaklık ölçümü yapılmış ve kaydedilmiştir. Tablo 5.12 ve Tablo 5.13'de hesaplamalarda kullanılan

ölçülen sıcaklık değerleri verilmiştir. Bu sistemden elde edilen sonuçların bir tanesine ait örnek grafik Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 verilmiştir.



Şekil 5.4. Kalorimetre Kabının Su Cinsinden Değerinin Bulunması için yapılan deneyin ilk 5 dakikalık ölçümüne ait bilgisayar sisteminden elde edilen sıcaklık denge grafiği



Şekil 5.5. Kalorimetre Kabının Su Cinsinden Değerinin Bulunması için yapılan deneyin ikinci 5 dakikalık ölçümüne ait bilgisayar sisteminden elde edilen sıcaklık denge grafiği

Tablo 5.12. 1. kalori metre kabındaki suyun ölçülen sıcaklık değerleri

Süre (dakika)	Sıcaklık (°C)					Açıklama
	1. Tekrar	2. Tekrar	3. Tekrar	4. Tekrar	5. Tekrar	
1	23.79	23.66	20.70	23.66	23.14	
2	23.80	23.64	20.71	23.68	23.16	
3	23.79	23.59	20.74	23.71	23.19	
4	23.81	23.61	20.73	23.71	23.18	
5	23.79	23.62	20.74	23.69	23.17	$T_{1\text{-soğuksu}}$
6	33.32	33.42	31.14	33.45	33.08	
7	33.24	33.29	31.03	33.39	32.94	
8	33.15	33.33	30.96	33.32	32.92	
9	33.18	33.25	30.93	33.29	32.92	
10	33.12	33.20	30.92	33.22	32.85	T_{denge}

Tablo 5.13. 2. kalori metre kabındaki suyun ölçülen sıcaklık değerleri

Süre (dakika)	Sıcaklık (°C)					Açıklama
	1. Tekrar	2. Tekrar	3. Tekrar	4. Tekrar	5. Tekrar	
1	23.20	23.28	23.26	23.25	23.47	
2	23.21	23.30	23.31	23.28	23.46	
3	23.20	23.31	23.37	23.32	23.52	
4	23.22	23.34	23.33	23.34	23.51	
5	23.24	23.37	23.38	23.31	23.52	$T_{1\text{-soğuksu}}$
6	33.36	32.54	32.96	32.15	32.75	
7	33.11	32.34	32.77	31.96	32.54	
8	32.99	32.22	32.62	31.89	32.46	
9	32.87	32.15	32.54	31.78	32.37	
10	32.16	32.10	32.49	31.90	32.30	T_{denge}

Bu deney, kullanılan her iki kalori metre kabı ile yapılmış ve tekrar sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

Termodinamiğin birinci kanununa göre;

$$Q_{alınan} = Q_{verilen}$$

$$(m_{1su}+m_{kal}) \times c_{su} \times (T_d - T_1) = m_{2su} \times c_{su} \times (T_2 - T_d) \qquad (5.3)$$

m_{1su} = Oda sıcaklığındaki suyun ağırlığı

m_{2su} = 55 °C sıcaklıktaki suyun ağırlığı

m_{kal} = Kalori metre kabının ağırlığı

T_1 = 5. dakikadaki oda sıcaklığındaki suyun sıcaklığı

T_2 = ~55 °C

T_d = Denge sıcaklığı

c_{su} = Suyun özısısı

Yukarıdaki eşitlikte tüm veriler yerine konulduğunda her iki kalori metre kabının su cinsinden değeri bulunmuştur. Deney 5 kere tekrar edilmiş olup ortalamaları alınmıştır. Tüm veriler ve sonuçlar, 1. kalori metre kabı için tüm veriler ve sonuçlar Tablo 5.14'te, 2. kalori metre kabı için ise Tablo 5.15'te gösterilmiştir.

Tablo 5.14. 1. kalori metre kabının su cinsinden ölçülen ağırlığı

	1. Kalori metre Kabındaki İçin Veriler						1. Kalori metre Kabının Su Cinsinden Ağırlığı (m_{kal}) (g)
	m_{1su}(g)	m_{2su}(g)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_d (°C)	c_{su} (cal/g°C)	
1. Tekrar	866.67	433.33	23.79	55.02	33.12	1	150.47
2. Tekrar	866.67	433.33	23.62	55.04	33.20	1	121.21
3. Tekrar	866.67	433.33	20.74	55.09	30.92	1	162.17
4. Tekrar	866.67	433.33	23.49	55.00	33.22	1	123.67
5. Tekrar	866.67	433.33	23.17	55.01	32.85	1	125.33
Ortalama m_{kal-1}							136.57

Tablo 5.15. 2. kalori metre kabının su cinsinden ölçülen ağırlığı

	2. Kalori metre Kabındaki İçin Veriler						2. Kalori metre Kabının Su Cinsinden Ağırlığı (m_{kal}) (g)
	m_{1su}(g)	m_{2su}(g)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_d (°C)	c_{su} (cal/g°C)	
1. Tekrar	343.67	171.83	23.24	55.04	32.16	1	97.08
2. Tekrar	343.67	171.83	23.37	55.01	32.10	1	107.26
3. Tekrar	343.67	171.83	23.38	55.02	32.49	1	81.28
4. Tekrar	343.67	171.83	23.31	55.02	31.90	1	118.81
5. Tekrar	343.67	171.83	23.52	55.02	32.30	1	100.97
Ortalama m_{kal-2}							101.08

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan ölçümlerde, termal denge kuralları yani temas halindeki iki materyalden sıcaklığı yüksek olanın sıcaklık kaybetmesi ve daha düşük sıcaklıktaki materyalinise sıcaklığının yükselerek denge sıcaklığına ulaşmaları temel alınmıştır. Sıcak materyalin verdiği ısı miktarı ile soğuk materyalin aldığı ısı miktarı birbirine eşittir. Bu mantıkla yola çıkılarak, belli bir sıcaklıktaki distile su ile yine belli bir sıcaklıktaki numuneler aynı ortamda buluşturularak sıcaklık değişimleri ve denge noktaları izlenmeye çalışılmıştır.

6.1. FDMlerin Ölçülen Termal Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

FDMlerin ısınma-soğuma çevrimleri ile suyunu verip geri kazanmasının tekrarlanabilirliği deneylerle gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan FDMlerin özellikleri Bölüm 5'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Buna göre aşağıda sırasıyla FDMler ile yapılan deneylerin sonuçları ve gözlemler verilmiştir.

6.1.1. Su ve FDMnin Isınma ve Soğuma Davranışının Karşılaştırılması

Kütleleri bilinen iki ayrı maddeyi izole sistemler içerisinde özdeş ısıtıcılarla ısıttığımızda, örneklerin başlangıç sıcaklıkları aynı ise ve ısıtma sonundaki final sıcaklıkları biliniyor ise aldıkları ısılar birbiriyle karşılaştırılabilir ve eşittir.

Measure Programında ısınma eğrileri birlikte incelendiğinde suyun sıvı haldeki olağan davranışına uygun olarak sıcaklığının giderek arttığı, FDMnin ise iki basamaktan oluşan bir ısınma eğrisi olduğu gözlenmektedir.

FDMnin ısınma eğrisini birinci ve ikinci bölge olarak adlandırırsak, birinci bölgenin tamamlanıp, ikinci bölgenin başladığı zamana karşılık gelen sıcaklık değeri eğri üzerinden hem FDMi için hem de su için okunur.

Su ve FDM örneklerinin başlangıç sıcaklıklarının eşit olduğu değer tespit edilir. $Q=mc\Delta T$ formülünden suyun aldığı ısı hesaplanır. Bu ısı değeri aynı zamanda FDMnin birinci bölgede aldığı ısıya eşittir.

FDM'nin ikinci bölgede aldığı ısı, suyun toplam ısınma ısısından birinci bölgede suyun hesaplanan ısınma ısısının çıkarılması ile bulunabilir. Bu bölgede FDM sıvı faza geçtiği için farklı bir özgül ısı kapasitesine sahiptir ve bu değer hesaplanır. Literatür değerleriyle karşılaştırılabilir.

Bir FDM örneğinin tekrarlanan ısıtma deneyleri için iki ayrı bölgede ısı kapasiteleri ayrı ayrı hesaplanır. Birbirleriyle karşılaştırılarak, tekrarlı ısıtmada malzemenin ısıl özelliğinin değişip değişmediği, ya da kaç tekrarda değiştiği incelenir.

Ayrıca tekrarlanan deneylerde bulunan ısı kapasitelerinin ortalaması ve std.sapması alınarak, kumaşa uygulanması ertesindeki ölçümler için referans değer olarak alınır.

Birinci bölge için hesaplamalar:

- Başlangıç Sıcaklığı: T_o ^oC (Su ve FDM için ortak)
- Birinci bölgedeki son sıcaklıklar: $T_{1\text{-}SU}$, $T_{1\text{-}FDM}$ (^oC)
- $Q_{\text{-}SU} = m_{su} \times C_{su} \times \Delta T = 400 \times 4.18 \times (T_{1\text{-}Su} - T_o)$
- $Q_{FDM} = m_{FDM} \times C_{1\text{-}FDM} \times \Delta T = 10 \times C_{1\text{-}FDM} \times (T_{1\text{-}FDM} - T_o)$ (aslında Q=mL koşulu var; ancak malzeme saf değil)
- $Q_{FDM} = Q_{su} = 10 \times C_{1\text{-}FDM} \times (T_{1\text{-}FDM} - T_o) = 400 \times 4.18 \times (T_{1\text{-}Su} - T_o)$ (bu eşitlikten $C_{1\text{-}FDM}$ değeri hesaplanır)

$C_{1\text{-}FDM}$ = J/g-^oC (literatür değeriyle karşılaştırılır).

İkinci bölge için hesaplamalar:

- Başlangıç Sıcaklığı: T_o ^oC (Su)

-İkinci bölgedeki son sıcaklıklar: Grafik üzeride her iki eğri için en son bölge üzerinden tahmin doğruları elde edilir.

Su için $y_1 = m_1 x + c_1$ ve FDM için $y_2 = m_2 x + c_2$

Su ve FDM arasındaki sıcaklık farkı eğrisi üzerinde son bölge için aralarındaki farkı hangi saniyede sıfır olacağını tahmin etmek üzere bir tahmin doğrusu bulunur.

$T_{oa} - T_{ob}$ eğrisi için bulunan $y_3 = m_3 x + c_3 = 0$. Buradan süre x (sn) olarak elde edilir. Bulunan bu süre, yukarıdaki her iki denklemde yerine konduğunda su için $T_{2\text{-}SU}$ ve FDM için $T_{2\text{-}FDM}$ sıcaklık değerleri elde edilir. Elde edilen değerlerin ortalaması alınır. Burada bu değer T_{son} olarak kabul edilmiştir.

- $Q_{su} = 400 \times 4.18 \times (T_{son} - T_o)$

- $Q_{2\text{-}SU} = Q_{su} - Q_{1\text{-}SU} = Q_{2\text{-}FDM}$

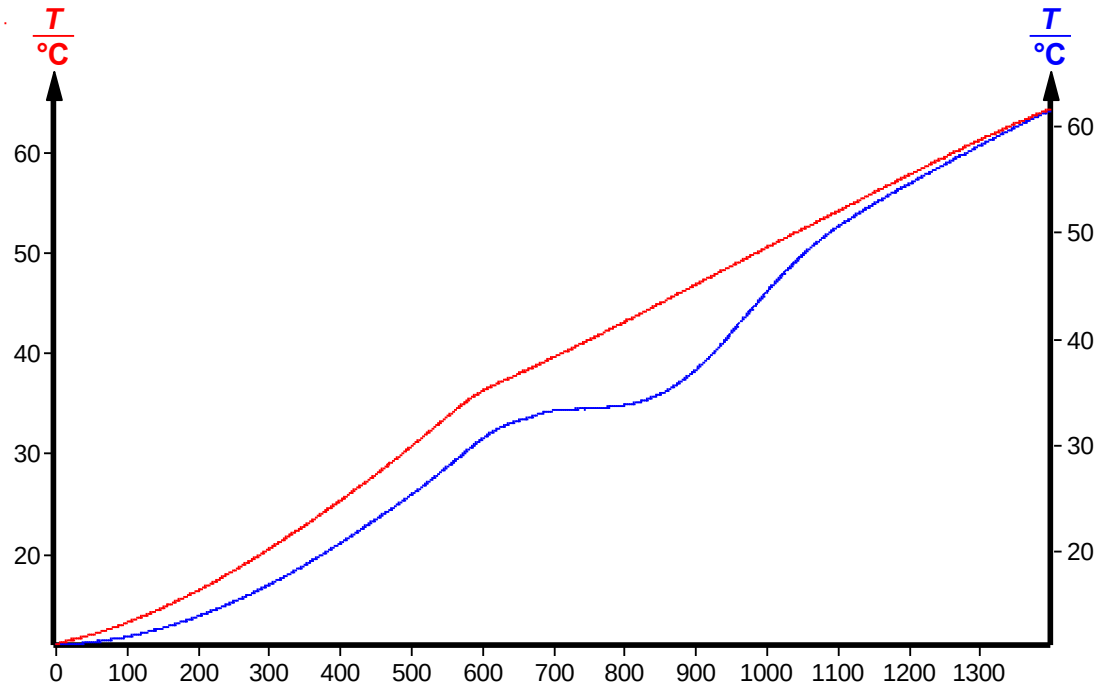
- $Q_{2\text{-}FDM} = m_{FDM} \times C_{2\text{-}FDM} \times \Delta T = 10 \times C_{2\text{-}FDM} \times (T_{son} - T_{1\text{-}FDM})$

Buradan C_{2FDM} (J/g-^{0}C) bulunur ve karşılık gelen literatür değeri karşılaştırılır.

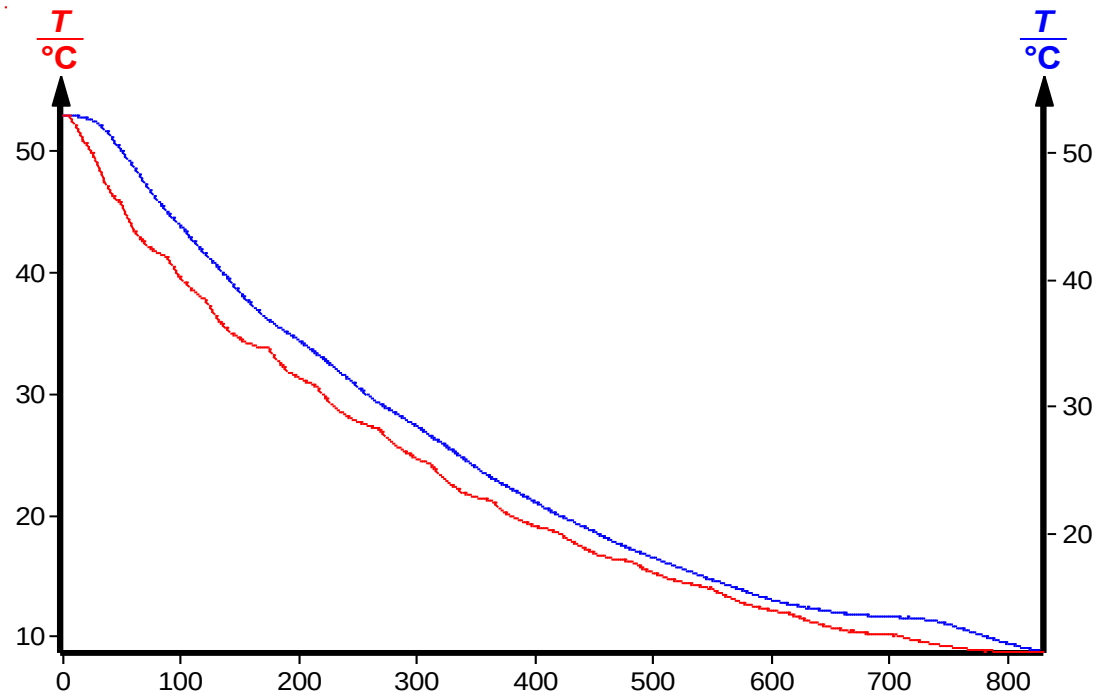
Su ve FDM'nin soğuma davranışının incelenmesinde aynı yaklaşım kullanılmıştır. Isınma eğrilerindeki hesaplamalar soğuma eğrileri için tekrarlanmış ve soğuma grafikleri yardımı ile bulunan c değerleri kendi içinde ve ısınma deneyinden elde edilen c sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

6.1.1.1. $Na_2SO_4.10H_2O$ İle İlgili Sonuçlar

Hidrat tuzları ile yapılan deneyler sonucunda su kaybetme sonrasında tuz ve suyun birbirinden ayrıldığı, suyunu geri kazanması esnasında ise tuz ve suyun birbirine karışarak katılaştığı görülmüştür. İnorganik tuzların kristal suyunu kaybedip, geri kazanması işleminin tekrarlanabilirliği önemlidir, bunu sülfat bileşikli hidrat tuzu başaramamıştır. Sodyum sülfat dekahidrat ($Na_2SO_4.10H_2O$) daha ilk çevrimde özelliğini yitirmiştir. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de sodyum sülfat dekahidratın birinci çevrimine ait ısınma ve soğuma eğrileri gösterilmiştir. Tüm grafiklerde mavi renkli eğri malzemeye, kırmızı renkli eğri suya aittir.



Şekil 6.1. $Na_2SO_4.10H_2O$ ısınma grafiği



Şekil 6.2 $Na_2SO_4.10H_2O$ soğuma grafiği

Yapılan 10 tekrarlı soğuma ve ısınma deneyleri için hesaplanan $Na_2SO_4.10H_2O$'ın öz ısıları aşağıdaki Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.1 $Na_2SO_4.10H_2O$ ısınma deneyleri sonuçları

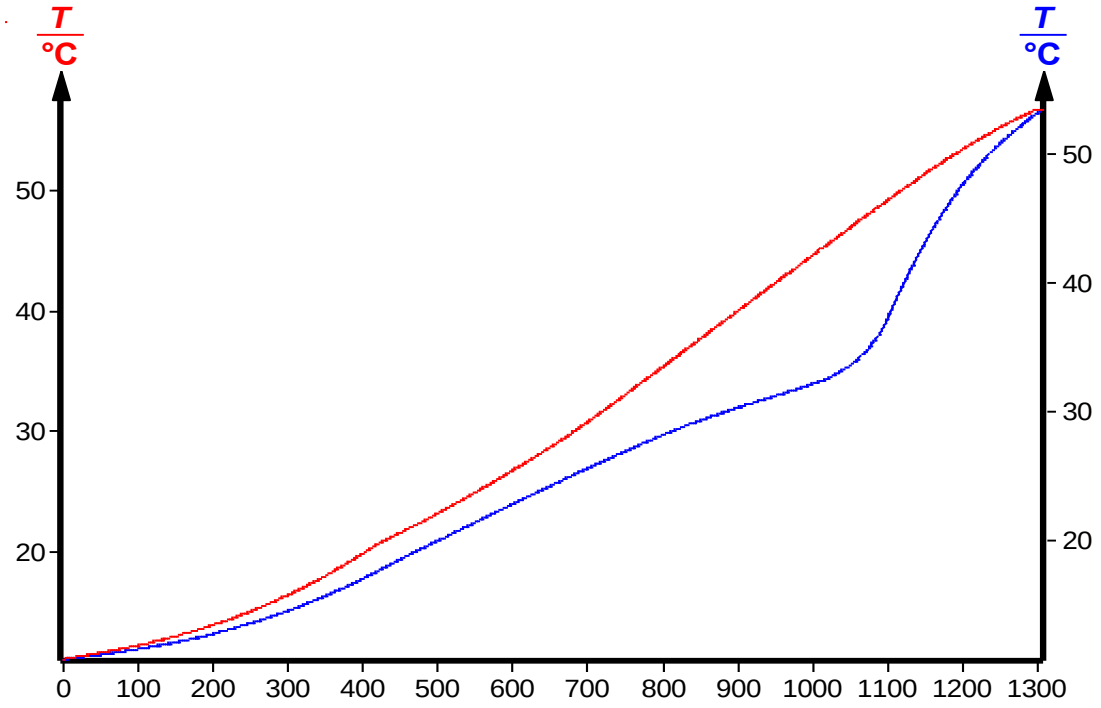
	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	238.75	140.39
Tekrar 2	299.45	120.02
Tekrar 3	289.10	98.38
Tekrar 4	290.04	104.97
Tekrar 5	291.93	110.94
Tekrar 6	283.06	110.32
Tekrar 7	330.03	105.73
Tekrar 8	298.26	105.74
Tekrar 9	315.29	110.38
Tekrar 10	304.29	110.44
Ortalama C_{FDM}	294.02	111.73
Standart Sapma	23.8546	11.5085

Tablo 6.2 $Na_2SO_4.10H_2O$ soğuma deneyleri sonuçları

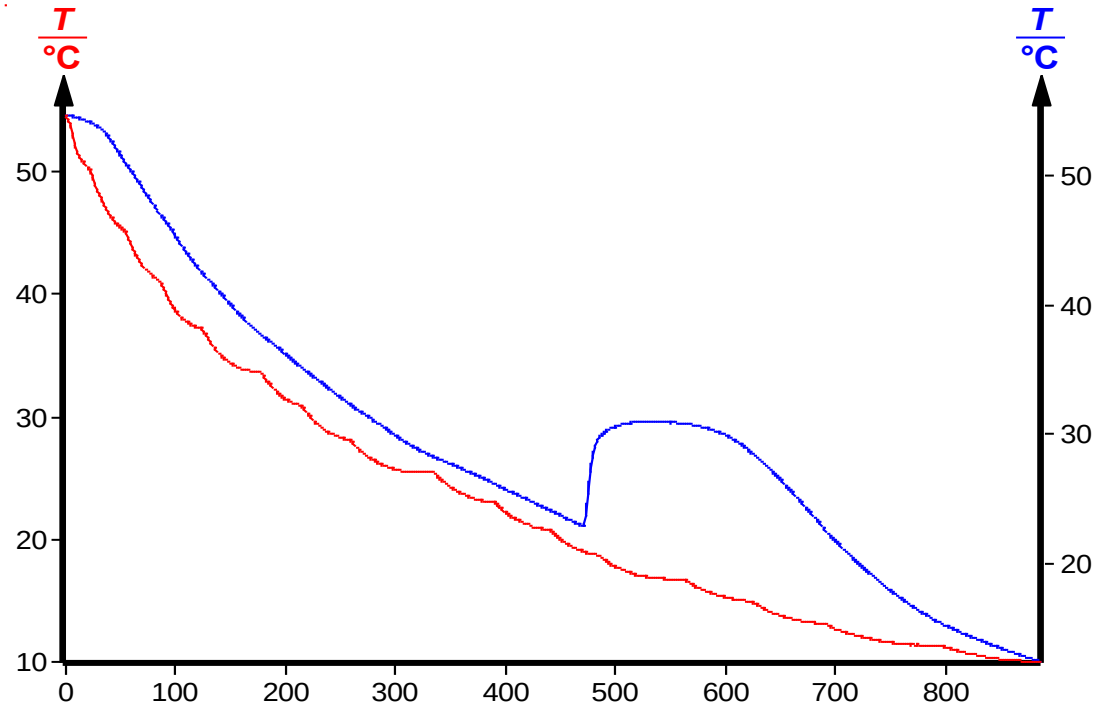
	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	384.69	107.14
Tekrar 2	397.67	148.01
Tekrar 3	278.00	171.88
Tekrar 4	465.39	179.38
Tekrar 5	349.99	176.85
Tekrar 6	198.31	167.57
Tekrar 7	253.18	172.10
Tekrar 8	393.59	180.16
Tekrar 9	262.14	61.55
Tekrar 10	363.76	177.97
Ortalama C_{FDM}	334.67	154.26
Standart Sapma	82.8774	39.4893

6.1.1.2 $Na_2CO_3.10H_2O$ İle İlgili Sonuçlar

Sodyum karbonat dekahidrat ile yapılan deneyler sonucunda da tıpkı sodyum sülfat deka hidratta olduğu gibi su kaybetme sonrasında tuz ve suyun birbirinden ayrıldığı, suyunu geri kazanması esnasında ise tuz ve suyun birbirine karışarak katılaştığı görülmüştür. İnorganik tuzların kristal suyunu kaybedip, geri kazanması işleminin tekrarlanabilirliğinin önemli olduğunu belirtmiştik ve bunu karbonat bileşikli hidrat tuzu başarmıştır. Yapılan 10 ısıtma-soğutma çevrimi sonucunda sodyum karbonat dekahidratın faz değiştirme özelliğini koruduğu ve döngüde herhangi bir özelliğini kaybetmediği gözlenmiştir. Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te sodyum karbonat dekahidrata ait ısınma ve soğuma eğrilerinden birer örnek gösterilmiştir.



Şekil 6.3. $Na_2CO_3.10H_2O$ ısınma grafiği



Şekil 6.4. $Na_2CO_3.10H_2O$ soğuma grafiği

Yapılan 10 tekrarlı soğuma ve ısınma deneyleri için hesaplanan $Na_2CO_3.10H_2O$'ın öz ısıları aşağıdaki Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 'te verilmiştir.

Tablo 6.3 $Na_2CO_3.10H_2O$ ısınma deneyleri sonuçları

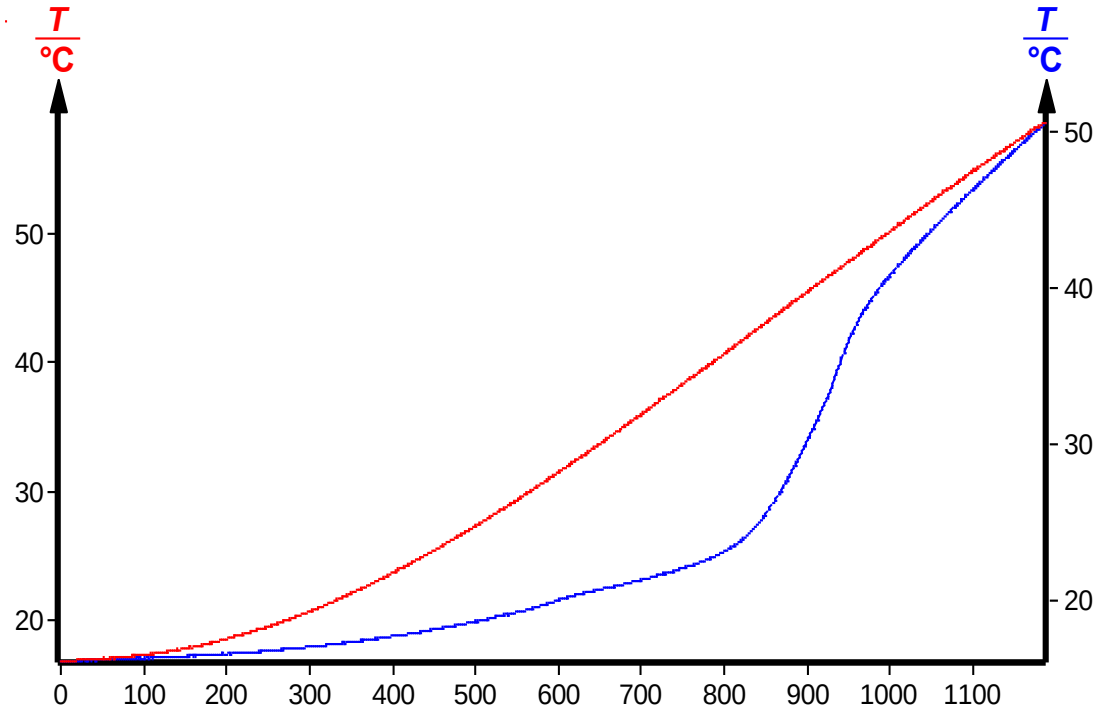
	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	273.88	123.40
Tekrar 2	320.87	83.66
Tekrar 3	287.32	98.38
Tekrar 4	297.30	104.97
Tekrar 5	296.36	110.94
Tekrar 6	289.67	110.32
Tekrar 7	308.77	105.74
Tekrar 8	308.27	105.74
Tekrar 9	320.31	110.38
Tekrar 10	299.03	110.44
Ortalama C_{FDM}	300.18	106.40
Standart Sapma	14.7734	10.2279

Tablo6.4 $Na_2CO_3.10H_2O$ soğuma deneyleri sonuçları

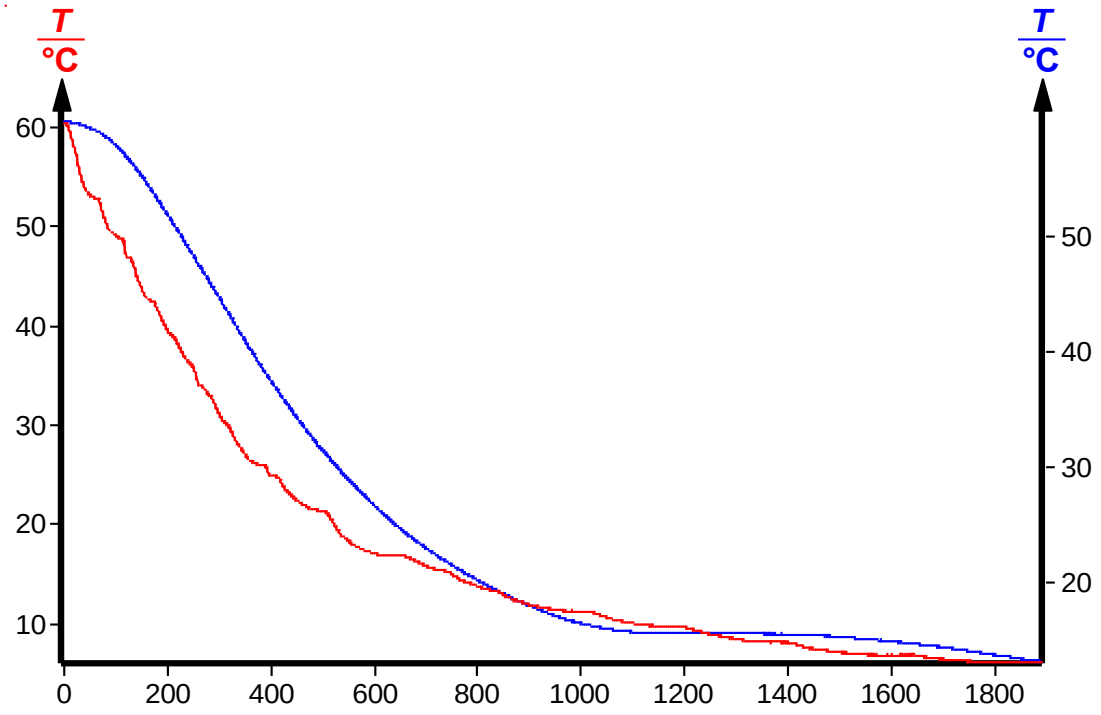
	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	268.24	161.23
Tekrar 2	258.07	122.17
Tekrar 3	331.69	118.01
Tekrar 4	298.97	166.48
Tekrar 5	322.64	173.65
Tekrar 6	281.75	106.15
Tekrar 7	292.89	120.28
Tekrar 8	327.52	168.18
Tekrar 9	269.70	159.58
Tekrar 10	307.22	178.39
Ortalama C_{FDM}	295.87	147.41
Standart Sapma	26.3000	27.3299

6.1.1.3. PEG 600 İle İlgili Sonuçlar

Polietilenglikoller genel olarak normal bir faz değişimi gösterdiği ve erime sıcaklıklarının molekül ağırlıklarıyla doğru orantılı olarak az bir miktar arttığı gözlenmiştir. Ayrıca yapılan 10'ar çevirim sonucunda PEG'lerin özelliklerinde herhangi bir bozulma ve farklılaşma gözlenmemiştir.



Şekil 6.5. PEG 600 ısınma grafiği



Şekil 6.6. PEG 600 soğuma grafiği

PEG 600 ile yapılan deneylerde, ısıtma ve soğutma esnasında su ile kendi sıcaklığı arasında genel olarak yaklaşık 6-7 °C'lik fark gözlenmiştir. Isıtırken suyun sıcaklığı, soğuturken de maddenin sıcaklığı diğerine göre daha fazla olmuştur. Bu farkın faz

değişimi sırasında ortalama 13-18 °C'ye kadar da çıktığı gözlenmiştir. Şekil 6.5, PEG 600'ün ısınma eğrisini, Şekil 6.6 ise PEG 600'ün soğuma eğrisini göstermektedir.

Yapılan 10 tekrarlı soğuma ve ısınma deneyleri için hesaplanan PEG 600'ün öz ısıları aşağıdaki Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.5 PEG 600 ısınma deneyleri sonuçları

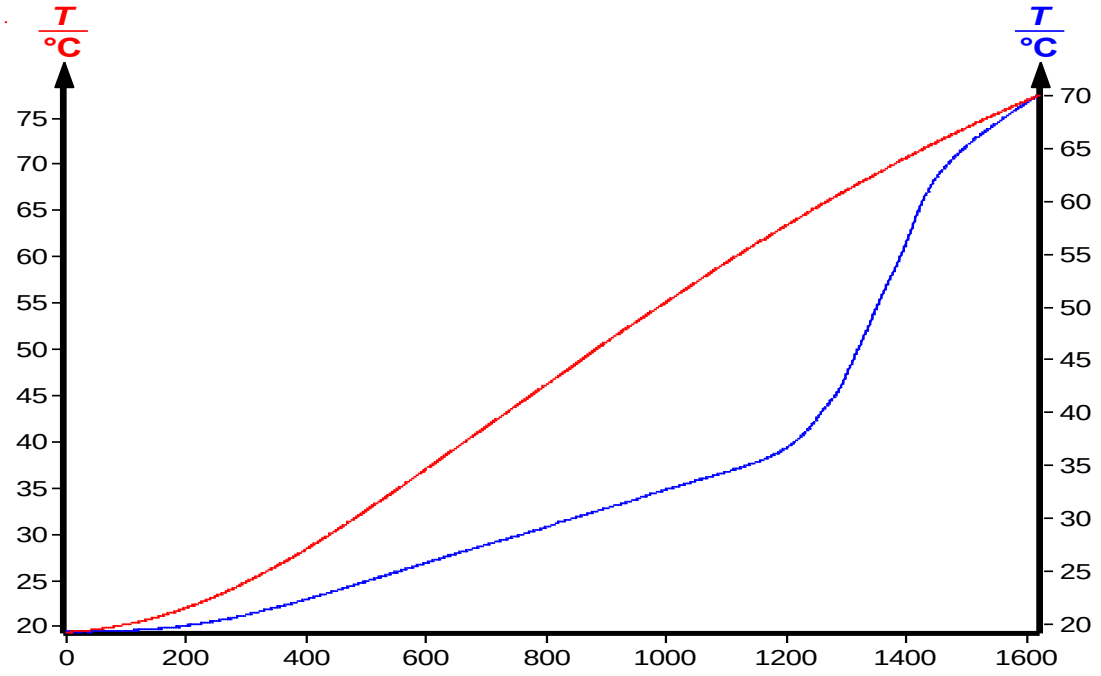
	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	410.96	161.54
Tekrar 2	484.54	160.35
Tekrar 3	360.79	128.69
Tekrar 4	362.27	133.85
Tekrar 5	499.80	142.53
Tekrar 6	579.00	138.17
Tekrar 7	510.07	117.07
Tekrar 8	586.81	140.23
Tekrar 9	458.57	140.13
Tekrar 10	542.59	101.63
Ortalama C_{FDM}	479.54	136.42
Standart Sapma	81.4717	18.0230

Tablo 6.6. PEG 600 soğuma deneyleri sonuçları

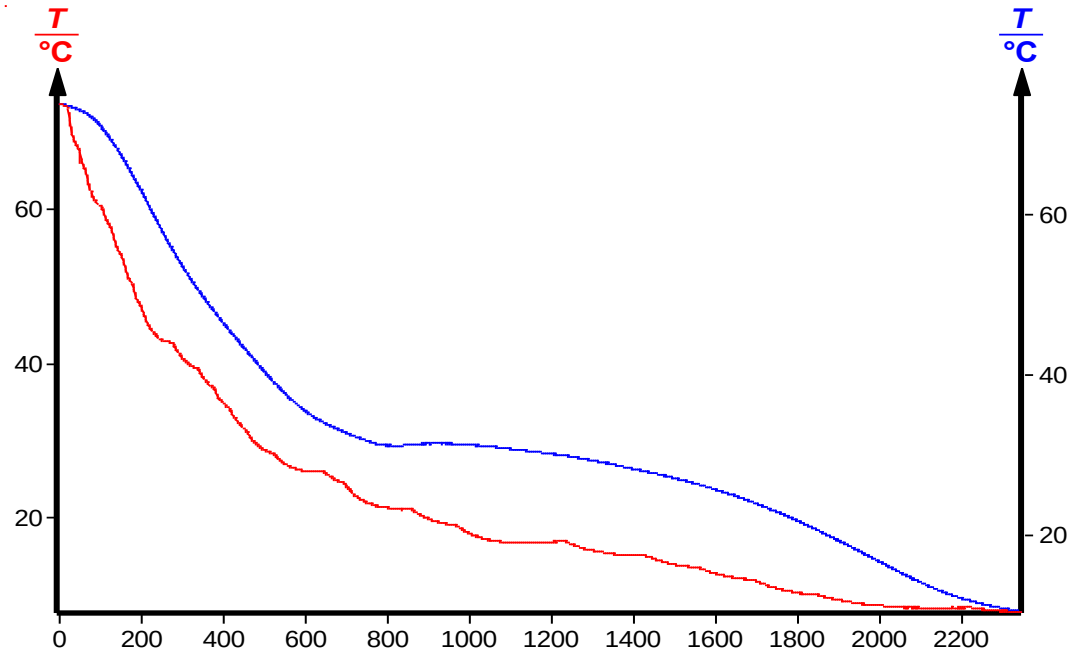
	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	649.92	125.36
Tekrar 2	459.41	113.53
Tekrar 3	486.73	142.07
Tekrar 5	421.19	119.21
Tekrar 6	485.09	113.74
Tekrar 7	367.24	186.25
Tekrar 8	302.15	149.57
Tekrar 9	308.47	155.93
Tekrar 10	290.65	171.94
Ortalama C_{FDM}	561.65	145.07
Standart Sapma	116.694	26.247

6.1.1.4 PEG 1000 İle İlgili Sonuçlar

Aşağıdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere PEG 1000 ile yapılan deneylerde ortam ve madde arasındaki sıcaklık farkı, ısınmanın başlangıcında yaklaşık 8-9 ^{o}C arasında iken ve ısınma arttıkça aradaki fark da kademeli olarak artarak faz değişimi sırasında 25 ^{o}C'ye kadar ulaşmıştır. Ağağıda Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de PEG 1000'ün ısınma eğrisi ve soğuma eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 6.7. PEG 1000 ısınma grafiği



Şekil 6.8. PEG 1000 soğuma grafiği

Yapılan 10 tekrarlı soğuma ve ısınma deneyleri için hesaplanan PEG 1000'ün I. ve II. Bölge için öz ısıları aşağıdaki Tablo 6.7 ve Tablo 6.8 'de verilmiştir.

Tablo 6.7. PEG 1000 ısınma deneyleri sonuçları

	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	314.95	91.87
Tekrar 2	420.41	127.04
Tekrar 3	323.88	92.19
Tekrar 4	408.09	109.93
Tekrar 5	419.96	98.24
Tekrar 6	331.47	96.75
Tekrar 7	382.22	98.65
Tekrar 8	293.34	108.05
Tekrar 9	311.05	100.08
Tekrar 10	304.34	121.34
Ortalama C_{FDM}	350.97	104.41
Standart Sapma	50.9046	12.0079

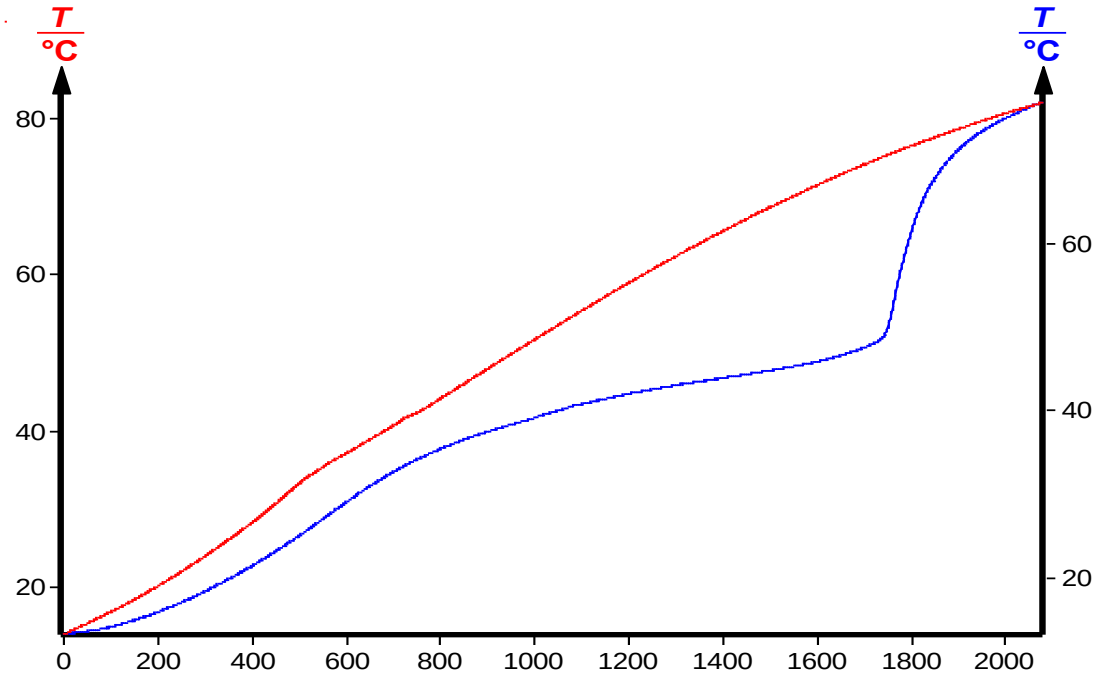
Tablo 6.8. PEG 1000 soğuma deneyleri sonuçları

	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	236.22	202.20
Tekrar 2	400.03	147.26
Tekrar 3	252.42	142.30
Tekrar 4	248.20	143.20
Tekrar 5	280.19	115.57
Tekrar 6	240.19	99.57
Tekrar 7	251.88	91.37
Tekrar 8	273.73	95.05
Tekrar 9	251.08	100.58
Tekrar 10	216.11	166.51
Ortalama C_{FDM}	265.01	130.36
Standart Sapma	50.7505	36.3341

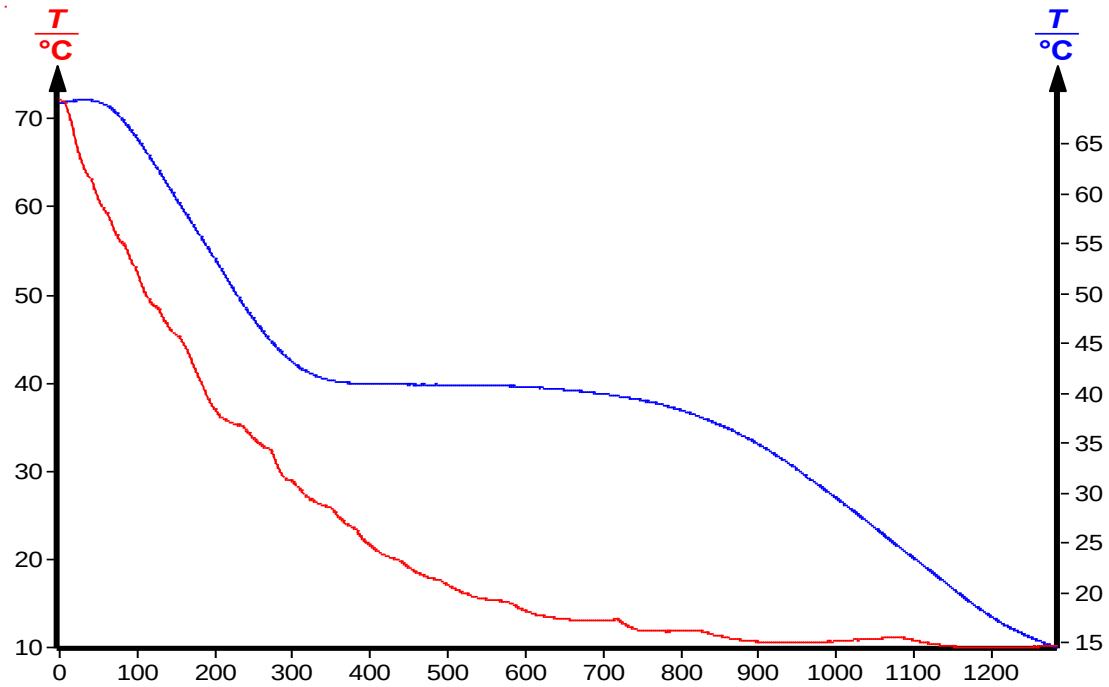
6.1.1.5. PEG 1500 İle İlgili Sonuçlar

PEG 1500 ile yapılan deneylerde de hemen hemen aynı durumlar gözlenmiştir. Isıtma sırasında PEG 1500 ile su arasındaki sıcaklık farkı düzenli bir şekilde artarak faz değişimi sırasında bu fark 26°C'ye kadar ulaşmış, daha sonra düzenli olarak

aradaki fark azalmaya başlamıştır. Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da bu sonuçlar gözlenebilmektedir.



Şekil 6.9. PEG 1500 ısınma grafiği



Şekil 6.10. PEG 1500 soğuma grafiği

Yapılan 10 tekrarlı soğuma ve ısınma deneyleri için hesaplanan PEG 1500'ün öz ısıları aşağıdaki Tablo 6.9 ve Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.9. PEG 1500 ısınma deneyleri sonuçları

	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	240.85	123.40
Tekrar 2	299.08	83.66
Tekrar 3	299.46	98.38
Tekrar 4	333.79	104.97
Tekrar 5	300.73	110.94
Tekrar 6	312.41	110.32
Tekrar 7	290.31	105.74
Tekrar 8	314.28	105.74
Tekrar 9	314.98	110.38
Tekrar 10	308.66	110.44
Ortalama C_{FDM}	301.45	106.40
Standart Sapma	24.4318	10.2279

Tablo 6.10. PEG 1500 soğuma deneyleri sonuçları

	I. BÖLGE	II. BÖLGE
	C_{FDM}	C_{FDM}
Tekrar 1	321.02	106.62
Tekrar 2	288.05	126.66
Tekrar 3	280.38	148.56
Tekrar 4	291.59	201.98
Tekrar 5	257.31	150.10
Tekrar 6	282.28	136.93
Tekrar 7	262.89	145.16
Tekrar 8	255.24	162.96
Tekrar 9	317.90	149.89
Tekrar 10	265.65	153.11
Ortalama C_{FDM}	282.23	148.20
Standart Sapma	23.3341	24.6531

6.2. Kaplanmış Kumaşaların Ölçülen Termal Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

Deney numunelerinin özgül ısı değerlerinin hesaplanması için kurulan deney düzeneği, yöntemi vekullanılan gereçlerin özellikleri Bölüm 5'te "Malzemelerin Özgül Isı Değerlerinin Ölçülmesi" başlığı altında ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Burada sadece hesaplama yöntemi ve hesapların sonuçlarına yer verilecektir.

İzole bir sistemde belli bir sıcaklıktaki soğuk malzemenin aldığı ısı, sıcak malzemenin verdiği ısıya eşittir. Denge sıcaklığına gelince bu alışveriş durmaktadır. Buna göre;

Denge sıcaklığını elde etmek için Measure Programındaki grafiklerde önce regresyon analizi yapılıp sonra iki grafik arasında interpolasyon uygulanarak denge sıcaklığı bulunmuştur.

Su için sıcaklık-zaman grafiğinden elde edilen doğru denklemi: $y_1 = m_1 . x + c_1$

Kumaş için sıcaklık-zaman grafiğinden elde edilen doğru denklemi: $y_2 = m_2 . x + c_2$

Bu iki denklem birbirine eşitlenerek ($y_1 = y_2$) x değeri elde edilir. Bu x değeri denge sıcaklığına ulaşma süresidir. x değeri y_1 yada y_2 denlemlerinden herhangi birinde yerine konduğunda, dengeye geldikleri sıcaklık (T_d) elde edilir.

Burada soğuk ortam sıcak malzeme deneyleri yapılmıştır. Isıyı alan soğuk ortam kalorimetre kabı ve su birlikte oluşturmaktadır. Bu nedenle kalorimetre kabının su cinsinden ağırlığı ve su ağırlığının toplamı soğuk ortamın kütlesini vermektedir.

T_1 ve T_2 suyun ve malzemenin başlangıç sıcaklıklarıdır.

Kumaşın içine yerleştirildiği cam tüp ve ısı izolasyonun sağlanması için tüpün ağzında kullanılan lastik tıpa, sıcak malzeme grubundadır. m_t ve c_t cam tüpün kütlesi ve özısısıdır, m_L ve c_L lastik tıpanın kütlesi ve özısısıdır. Buna göre alınan ve verilen ısı eşitliği şu şekilde yazılmıştır:

$$Q_{alınan} = Q_{verilen}$$

$$(m_{su} + m_{kal}) \times c_{su} \times \Delta T_1 = m_t \times c_t \times \Delta T_2 + m_L \times c_L \times \Delta T_2 + m_K \times c_K \times \Delta T_2$$

$$(m_{su} + m_{kal}) \times c_{su} \times (T_d - T_1) = m_t \times c_t \times (T_2 - T_d) + m_L \times c_L \times (T_2 - T_d) + m_K \times c_K \times (T_2 - T_d)$$

Bu eşitlikte tüm veriler yerine yazılarak kumaş numunesinin özgül ısı (c_K) değeri hesaplanır. Aşağıdaki Tablo 6.11 ve Tablo 6.12'de %100 PA kumaş ve%50 PET-%50 CO kumaş için hesaplanan özgül ısı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.11. %100 PA kumaşın deney sonuçları

	Başlangıç Sıcaklıkları (°C)		Başlangıç Sıcaklık Farkı (°C) (|T2-T1|)	Denge Sıcaklığı (T_d)	Denge Sıcaklığına Ulaşılıncaya Kadar Toplam Alınan-Verilen Enerji (Q-kj)	Hesaplanan Özısı Değeri (kj/°C)
	Su (T_1) (soğuk)	Malzeme (T_2) (sıcak)				
1. numune	3,53	83,73	80,20	5,90	1118,59	8287,56	3,13
1. numune	3,75	84,85	81,10	8,27	2264,34	15805,82	9,63
1. numune	4,58	85,23	80,65	10,33	1284,51	15299,96	9,48
1. numune	4,00	86,78	82,78	9,99	1266,88	15938,57	9,70
1. numune ortalama						**13832,98**	**7,985**
2. numune	4,59	85,85	81,26	8,18	2056,24	12553,74	5,24
2. numune	3,98	86,53	82,55	6,61	1312,72	9196,75	2,88
2. numune	4,36	88,01	83,65	8,28	1817,38	13707,70	5,76
2. numune	3,57	86,81	83,24	7,76	1767,34	14651,85	6,44
2. numune ortalama						**12527,51**	**5,08**
3. numune	3,87	83,15	79,28	6,63	1231,30	9651,34	3,04
3. numune	4,03	84,38	80,35	8,13	1659,94	14337,14	5,82
3. numune	3,95	85,95	82,00	7,02	1365,09	10735,37	3,49
3. numune ortalama						**11574,62**	**4,116667**
4. numune	4,08	88,27	84,19	7,61	1825,18	12343,93	3,60
4. numune	4,24	83,13	78,89	6,79	1467,76	8916,99	2,22
4. numune ortalama						**10630,46**	**2,91**
5. numune	3,67	77,87	74,20	6,10	1308,08	8497,38	2,68
5. numune	3,96	80,09	76,13	6,49	1401,64	8847,06	2,76
5. numune	3,73	86,60	82,87	6,44	1321,93	9476,50	2,67
5. numune ortalama						**8940,313**	**2,703333**
6. numune	3,75	80,26	76,51	6,69	1452,13	11224,93	4,08
6. numune	4,86	76,89	72,03	7,44	1610,04	9021,91	3,08
6. numune	3,97	85,59	81,62	7,37	2037,40	11889,33	4,03
6. numune ortalama						**10712,06**	**3,73**
7. numune	3,91	85,22	81,31	6,92	1479,71	10525,56	3,41
7. numune	3,86	80,37	76,51	6,71	1261,09	9966,06	3,45
7. numune	3,92	83,76	79,84	7,18	1673,19	11399,77	4,05
7. nunume ortalama						**10630,46**	**3,636667**
8. numune	4,13	80,23	76,10	6,67	1173,68	8882,03	2,82
8. numune	4,05	82,04	77,99	7,10	1272,46	10665,43	3,79
8. numune	3,95	84,63	80,68	6,88	1249,73	10245,81	3,31
8. numune ortalama						**9931,09**	**3,306667**

Tablo 6.12. %50 PET- %50 CO kumaşın deney sonuçları

	Başlangıç Sıcaklıkları (°C)		Başlangıç Sıcaklık Farkı (°C) (|T2-T1|)	Denge Sıcaklığı	Denge Sıcaklığına Ulaşma Süresi (sn)	Denge Sıcaklığına Ulaşılıncaya Kadar Toplam Alınan-Verilen Enerji (Q-kj)	Hesaplanan Özısı Değeri (kj/°C)
	Su (T_1) (soğuk)	Malzeme (T_2) (sıcak)					
1. numune	3,56	78,54	74,98	7,06	1630,09	12239,02	6,32
1. numune	3,51	81,02	77,51	7,01	1327,44	12239,02	6,00
1. numune	5,10	85,51	80,41	10,70	1419,17	14900,83	7,89
1. numune ortalama						**13126,29**	**6.74**
2. numune	4,18	85,64	81,46	7,32	1740,09	10980,15	3,49
2. numune	3,74	82,84	79,10	7,27	1588,65	12343,92	4,48
2. numune ortalama						**11662,04**	**3,98**
3. numune	3,74	85,54	81,80	8,01	1813,34	14931,60	4,88
3. numune	3,69	84,93	81,24	7,04	1520,90	11714,49	3,35
3. numune	3,91	85,69	81,78	7,55	1816,92	12728,58	3,80
3. numune ortalama						**13124,89**	**4,01**
4. numune	3,76	86,46	82,70	8,17	1745,41	15421,16	4,56
4. numune	4,11	86,87	82,76	8,07	1375,36	13847,57	3,86
4. numune	3,64	85,67	82,03	8,52	1952,07	17064,69	5,35
4. numune ortalama						**15444,47**	**4,59**
5. numune	3,64	86,24	82,60	8,28	1790,64	16225,44	5,57
5. numune	4,33	86,30	81,97	8,38	1667,37	14162,29	4,59
5. numune	3,20	76,71	73,51	6,82	1591,60	12658,64	4,63
5. numune ortalama						**14348,79**	**4,93**
6. numune	3,50	85,70	82,20	8,54	2067,97	17624,19	5,78
6. numune	3,90	85,77	81,87	8,35	1754,58	15561,04	4,85
6. numune	4,30	89,42	85,12	8,88	2024,28	16015,63	4,78
6. numune ortalama						**16400,29**	**5,14**
7. numune	3,94	88,86	84,92	9,07	2284,18	17938,90	6,13
7. numune	4,08	86,20	82,12	9,32	2298,07	18323,56	6,63
7. numune	4,00	85,68	81,68	7,83	1430,26	13392,98	4,19
7. nunume ortalama						**16551,81**	**5,65**
8. numune	4,15	86,85	82,70	8,49	1676,66	15176,38	4,51
8. numune	3,08	81,82	78,74	6,51	1560,37	11994,24	3,36
8. numune ortalama						**13585,31**	**3,93**

6.3. FDMİle Muamele Edilmiş PET Liflerin Ölçülen Termal Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

FDMİle muamele edilmiş elyaflarla yapılan deneylerin hesaplama yönteminde de kumaşlarla yapılan metod izlenmiştir. Buna göre

Su için sıcaklık-zaman grafiğinden elde edilen doğru denklemi: $y_1 = m_1 . x + c_1$

Elyaf için sıcaklık-zaman grafiğinden elde edilen doğru denklemi: $y_2 = m_2 . x + c_2$

Bu iki denklem birbirine eşitlenerek ($y_1 = y_2$) x değeri elde edilir. x değeri y_1 yada y_2 denlemlerinden herhangi birinde yerine konduğunda, T_d denge sıcaklığına ulaşılır.

Burada da soğuk ortam sıcak malzeme deneyleri yapılmıştır. Isıyı alan soğuk ortam kalorimetre kabı ve su, ısıyı veren sıcak ortam ise elyafın içine konduğu camtüp ve ısı izolasyonun sağlanması için kullanılan lastik tıpa oluşturmuştur. T_1 suyun ve T_2 malzemenin başlangıç sıcaklıkları, m_t ve c_t camtüpün kütlesi ve özısısı, m_L ve c_L lastik tıpanın kütlesi ve özısısıdır. Buna göre alınan ve verilen ısı eşitliği şu şekilde yazılmıştır:

$$Q_{alınan} = Q_{verilen}$$

$$(m_{su} + m_{kal}) \times c_{su} \times \Delta T_1 = m_t \times c_t \times \Delta T_2 + m_L \times c_L \times \Delta T_2 + m_E \times c_E \times \Delta T_2$$

$$(m_{su} + m_{kal}) \times c_{su} \times (T_d - T_1) = m_t \times c_t \times (T_2 - T_d) + m_L \times c_L \times (T_2 - T_d) + m_E \times c_E \times (T_2 - T_d)$$

Bu eşitlikte tüm veriler yerine yazılarak FDMile muamele edilmiş PET liflerinin numunesinin özgül ısı (c_E) değeri hesaplanır. Aşağıdaki Tablo 6.13'de elyaflar için hesaplanan özgül ısı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6.13. $Na_2CO_3.10H_2O$ ile muamele edilmiş PET liflerinin deney sonuçları

$Na_2CO_3.10H_2O$ ile muamele edilen numuneler		Açıklama	Başlangıç Sıcaklıkları (°C)		Denge Sıcaklığı	Denge Sıcaklığına Ulaşma Süresi (sn)	Hesaplanan Özısı Değeri (kj/°C)
			Su (T_1) (soğuk)	Malzeme (T_2) (sıcak)			
1. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	5.00	86.14	8.70	867.80	6.15
	2. parça	1 kere yıkanmış	4.64	85.95	9.29	898.22	32.01
	3. parça	2 kere yıkanmış	3.45	74.09	7.88	897.61	44.85
	4. parça	3 kere yıkanmış	2.43	84.49	6.91	865.74	27.98
2. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	4.42	85.45	8.08	793.47	5.18
	2. parça	1 kere yıkanmış	3.15	83.69	7.23	864.71	17.29
	3. parça	2 kere yıkanmış	3.22	80.95	7.43	881.81	25.81
	4. parça	3 kere yıkanmış	1.85	78.19	8.81	1335.59	17.96
3. numune	1. parça	Hiç yıkanmamış	3.56	86.27	7.51	871.94	7.51
	2. parça	1 kere yıkanmış	3.74	88.74	8.16	949.75	20.48
	3. parça	2 kere yıkanmış	3.95	85.85	7.50	874.26	16.13
	4. parça	3 kere yıkanmış	3.27	83.19	6.87	788.66	5.67

6.4. Sonuçların Tartışılması

Yapısında FDM bulunduran bir giysi sisteminin, kullanımı sırasında vücutta görülecek olan terleme ve soğuma çevrimleri karşısında, kullanıcının ihtiyaçlarını daha uzun süre karşılayabilmesi beklenmektedir. Bu açıdan FDM'nin ısınma-soğuma çevrimi ile suyunu verip geri kazanmasının tekrarlanabilirliğinin tespit edilmesi ayrı bir önem taşımaktadır. Buradan hareketle çalışmada kullanılacak olan polialkollerin ve hidrat tuzlarının ısınma-soğuma çevrimleri ve hidrat tuzlarının suyunu verip geri kazanmasının tekrarlanabilirliği deneylerle gözlenmiştir. Bu gözlem sonucunda hidrat tuzları ile yapılan deneylerde, tuzların ısınırken suyunu kaybettiği yani tuz ve suyun birbirinden ayrıldığı, suyunu geri kazanması esnasında ise tuz ve suyun birbirine karışarak katılaştığı görülmüştür. Fakat sülfat bileşikli hidrat tuzu kristal suyunu kaybedip, geri kazanması işleminin tekrarlanabilirliğini başaramamıştır, ilk

çevrimden sonra bu özelliğini kaybetmiştir. Buna karşılık karbonat bileşikli hidrat tuzu tüm çevrimlerinde soğuma esnasında kristal suyunu geri kazanmayı başarmıştır.

Hidrat tuzları ile liflere yapılan muamelelerde tuzun daha çok lifler çevresinde toplandığı görülmüştür. Bunun nedeni PET liflerinin lif çapının su moleküllerinin çapından küçük olması ile açıklanabilir. Tuzun liflerin içine hapsolması için lif çapı daha büyük olan rayon lifleri kullanılabilir, ayrıca emdirme yöntemi ile pamuk liflerine uygulanabilir veya daha yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında PET lifleri için yapılan işlemler tekrar edilebilir. Döşemelikler gibi az yıkama gerektirecek son kullanım ürünlerinde muamele edilmiş PET liflerinin kullanılması iyi sonuçlar verebilir. Soğuk iklim giysilerinde hidrat tuzu emdirilmiş lifler giysinin ara katmanlarında elyaf halinde kullanılabilirler. Piyasada sık kullanım alanı bulan kaz tüyü montlarda yada başka kullanılan yerlerde kaz tüylerine alternatif olarak dinamikisi yönetimi yapan FDM emdirilmiş veya doldurulmuş lifler tercih edilebilir

Deneylerde kullanılan hidrat tuzları pek çok avantaja sahiptir. Bu avantajlarının başında toksik olmamaları yani çevreye zarar vermeme gelmektedir. Çevreci yaklaşımların son derece önem taşıdığı günümüz koşullarında karbonat ve sülfat bileşikli hidrat tuzlarının kullanımı akıllı tekstillerde ön plana çıkacaktır. Tuzların ekonomik olmaları ise bir diğer önemli avantajı olup, tuzları piyasada bulmak da oldukça kolaydır. Bu özellikleri uygulamalarda tuzların kullanımını oldukça kolaylaştırmaktadır. Ayrıca karbonat ve sülfat tuzlarının mikrokapsülleme ye ihtiyaç duymadan kullanılabilmeleri büyük bir kolaylıktır. Tekstil alanında proseslerin bir basamağının azaltılması prosese ve maliyetlere kazançlar sağlarken deneylerde kullanılan tuzların bu avantajları diğer hidrat tuzlarına karşı üstünlük sağlamaktadır.

Polietilenglikollerin özelliklerinin tespiti için yapılan deneylerin sonucunda kullanılan PEG'lerin genel olarak normal bir faz değişimi gösterdiği ve erime sıcaklıklarının molekül ağırlıklarıyla doğru orantılı olarak az bir miktar arttığı gözlenmiştir. Ayrıca yapılan çevirimlerin sonucunda PEG'lerin özelliklerinde herhangi bir bozulma ve farklılaşma gözlenmemiştir ve PEG'ler tümü sınırlı-soğuma çevrimlerinde tamamen sıvı faza geçip tekrardan kristal suyunu bırakmadan tamamiyle katılaşabilmiştir.

PEG'ler saf bir madde değildirler, bir karışımdır. Örneğin PEG600'ün ortalama molar kütlesi 600 g/mol olmasına rağmen yapısında daha uzun ve daha kısa zincirler vardır. Şu söylenebilir ki, karışımların soğuma ve ısınma eğrileri, faz değiştirme sırasında beklenen plato şeklinde olmaz. Katıdan sıvıya geçerken aynı zamanda karışımın içinde hidrofil olduğu için FDM'nin su molekülleri, hatta su buharı da söz konusudur. Ayrıca küçük zincirli glikoller de buharlaşabilir. Bu nedenlerden dolayı ısınma eğrileri bu şartlarında bu yapıda elde edilirler.

FDM'lerin II. bölgede hesaplanan ısı kapasitelerinin literatürdeki karşılık gelen değerlerine yakın olduğu gözlenmektedir. Yapılan hesaplarda FDM'lerin I. bölgedeki ısı kapasitelerinin yüksek olmasının nedeni ise faz değiştirme eğrilerinde plato bölge olarak adlandırılan bölgedeki ısının ($Q=m.L$) da buraya dahil olması şeklinde açıklanabilir.

PEG'lerin kaplama malzemeleri içerisinde kullanılarak yapılan deneylerde kumaşların mevcut öz ısı değerlerinin yapılan kaplamalar ile artığı görülmektedir. FDM'nin kaplama malzemesi içindeki oranı değiştirilerek istenilen son kullanıma yönelik dinamik ısı yönetimi yapan kıyafetler yapmak mümkündür. Kaplama malzemesi içinde %40-25 arasında bir oranda FDM kullanımı ile oldukça soğuk iklimlerde kullanılabilecek kumaşlar edilirken, FDM oranı %25-10 düşürüldüğünde kışlık giysilerde, %10 ve daha alt oranlara düşürüldüğünde ise daha ılıman iklimlerde kullanılabilecek kumaşlar elde etmek mümkündür. FDM olarak kullanılan polialkollerin saklanırken özel koruma koşulları gerektirmemesi ve deneylerde kullanılan hidrat tuzları gibi toksik olmaması önemli özelliklerindendir. Polialkollerin faz değişimi sırasında hacimsel olarak değişmemesi de son kullanıma yönelik önemli bir avantajıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Ashrae Hanbook 1997,** 1997. Fundamentals, Bölüm 8, Atlanta, GA.

[2] **Hatch, K. L.,** 1993. Textile Science, West Publishing Company, USA.

[3] **Sarkar, R. K,** 1994. Comfort Properties of Defence Clothing, Man-Made Textiles in India, **12**, 541-544.

[4] **Humphries, M,** 1996. Fabric Reference, Prentice-Hall Inc, Newjersey, USA.

[5] **Layton, J. M,** 2001. The Science of Clothing Comfort, Textile Progress, Vol. 31, Sayı 1/2, The Textile Institute, Oxford, UK.

[6] **Taylor, H. M,** 1982. Textiles For Indoor Thermal Comfort, Part 1- Clothing, Textiles, **11/3**, 66

[7] **Brooks, C. J.,** 1986. Ship/Rig Personel Abandonment and Helicopter Crew/Passenger Immersion Suits: The Requirements in The North Atlantic, Aviation, Space, and Environmental Medicine, Mart, 276

[8] **Kerslake, D. M,** 1971. Physiological Aspects of Comfort, Textiles For Comfort, The Third International Seminar, Shirley Institute, Manchester

[9] **Denton, M. J.,** 1972. Fit, Stretch and Comfort, Textiles 1/1, 14

[10] **Slater, K.,** 1986. The Assessment of Comfort, Journal of Textile Institute, **77**, 157-171.

[11] **Hollies, N. R. S.,** 1977. Clothing Comfort-Psychological Scaling in Comfort Assessment, Ann Arbor Science Publishers Inc., Michigan, USA.

[12] **Fritz, A. M,** 1990. Sensory Assessment Assessed, Textile Asia, **21**, 144-147.

[13] **Ukponmwan, J. O,** 1993. The Thermal-Insulation Properties of Fabrics, Textile Progress, Vol. 24, Sayı 4, The Textile Institute, Oxford, UK.

[14] **Xiaoming, T.,** 2001. Smart Fibres, Fabrics and Clothing, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK

[15] **Benzinger, T. H,** 1969. Heat regulation: Homeostasis of central temperature in man, Physiol Rev., 49:671

[16] **Hardy, J. D,** 1961. Physiology of temperature regulation, Physiol Rev., 65:149

[17] **Marthur, G. L.; Raj, H; Kasturiya, N,** 1997. Protective Clothing for Extreme Cold Region, Indian Journal of Fibre&Textile Research, Aralık, **22**, 292-296.

[18] **Kılıç, M; Yiğit, A,** 2000. Isı Transferi, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yıpaş A.Ş., Bursa.

[19] **Raj, H; Kasturiya, N; Nishkam, A; Subbulakshmi, M.S.; Batra, B.S.,** 1998. Thermal Insulation Studies of Protective Clothing, Man-Made Textiles in India, Nisan, 153-158.

[20] **Saville, B. P.,** 1999. "Physical Testing of Textiles", The Textile Institute, Woodhead Publishing Ltd. & CRC Press.

[21] http://journals.iranscience.net:800/ www.newscientist.com/ www.newscientist.com/lastword/article.jsp@id=lw239

[22] http:// www.sdlamerica.com/html/m259.html

[23] **Yonenaga, A,** 1998. Engineered Fabrics for Active and Comfort Sportswear,, International Textile Bulletin, **4**, 22-26.

[24] **Rupp, J.,** 1998. Functional Sportswear, International Textile Bulletin, **4**, 14-20.

[25] This Sporting Life, 1998. Textile Month, **12**, 12-13

[26] **Vigo, T. L.; Frost, C. M.,** 1985. Temperature-Adaptable Fabrics, Textile Res. J., 55(12), 737-43

[27] **Vigo, T. L.; Bruno J. S.,** 1993. Fibers with Multifunctional Properties: A Historic Approach, Handbook of Fiber Science and Technology, Vol. 3, High Technology Fibers Part C, Menachem Lavin, Jack Preston, Marcel Dekker, Inc.

[28] http:// www.msc-smc.ec.gc.ca/education/windchill/science_equations_e.cfm

[29] **Reinert, T. J., "**Calorimetry and Determination of Specific Heat Capacity of a Substance", http:// www.linfield.edu/chem/C210/Lab2002/SpecHeat.pdf

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2001 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu ve aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'na başladı. Halen bu eğitimine devam etmektedir.