

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKROKAPSÜL ÜRETİMİ İLE TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ISIL
ÖZELLİKLERİNİ İYİLEŞTİRME OLANAKLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Serdal CEYLAN**

**Anabilim Dalı: Tekstil Mühendisliği
Programı: Tekstil Mühendisliği**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Emel ÖNDER

HAZİRAN 2010

**MİKROKAPSÜL ÜRETİMİ İLE TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ISIL
ÖZELLİKLERİNİ İYİLEŞTİRME OLANAKLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Serdal CEYLAN
503951111

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :07 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2010

Anabilim Dalı: Tekstil Mühendisliği
Programı: Tekstil Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Emel ÖNDER(İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Ömer Berk Berkalp (İTÜ)
Yrd.Doç. Dr. Nihal Sarıer (İKÜ)

HAZİRAN 2010

Eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Tekstil sektöründeki sert küresel rekabet, katma değeri yüksek ve nitelikli ürünlerin araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Emek yoğun tekstillerin üretimi, gelişmiş ülkelere gelişmekte olan ülkelere ve daha ucuz iş gücü olan az gelişmiş ülkelere doğru kaymaktadır. Gelişmiş ülkelerde tekstil sektörleri, ayakta kalabilmek için bir yandan markalaşma ve moda akımları yaratma yoluna gitmişler, diğer yandan daha nitelikli tekstillerin üretimine yönelmişlerdir.

Gelişmekte olan ülkeler sınıfında kabul edilen ülkemizde, büyük bir istihdam kaynağı olan tekstil sektörü son yıllarda ciddi bir daralma ile karşı karşıyadır. Moda alanında yapılan atılımların yanında, daha nitelikli ve çok fonksiyonlu tekstillerin geliştirilmesi bir zorunluluk olmuştur.

Kumaşlara önemli bir nitelik kazandırmayı amaçlayan bu çalışma, yeni bir üretim sahası açmaya adaydır.

Bu çalışmalarda bana yer veren, güvenen ve sabırla destek olan Sayın Prof. Dr. Emel Önder'e ve çalışmamız boyunca bilgi ve tecrübesini paylaşan Sayın Yrd. Doç. Dr. Nihal Sarier'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Haziran 2010

Serdal Ceylan

Tekstil Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	2
2. İNSAN BEDENİ VE ISIL KONFOR.....	5
2.1 İnsan Metabolizması.....	5
2.1.1 İnsan hakkında ortalama biyofizik veriler.....	5
2.1.2 İnsan bedeninin ısı dengesi.....	6
2.2 Isıl Konfora Etki Eden Faktörler.....	7
2.2.1 Metabolizma hızı.....	7
2.2.2 Giysilerden oluşan yalıtım.....	9
2.2.3 Çevresel şartlar.....	12
2.2.4 Nem ve nem transferi.....	15
2.3 Tekstil Yüzeyleri ve Isıl Konfor.....	16
2.3.1 Tekstil yüzeylerinde ısı özelliklerine etki eden faktörler.....	16
2.3.2 Mikro lifler içeren tekstil yüzeyleri.....	17
2.3.3 Hava hapsedilmiş lifler içeren tekstil yüzeyleri.....	18
2.3.4 Hızlı nem transferi yapan lifler içeren tekstil yüzeyleri.....	18
2.3.5 Isıl depolama kapasitesi artırılmış tekstil yüzeyleri.....	19
3. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER İLE MİKROKAPSÜL ÜRETİMİ	23
3.1 Mikrokapsüller.....	23
3.1.1 Mikrokapsülleme teknikleri.....	23
3.1.1.1 Fiziksel yöntemler:	23
3.1.1.2 Kimyasal yöntemler.....	24
3.1.2 Mikrokapsüllerin kullanım alanları.....	25
3.2 Faz Değiştiren Malzemeler (FDM).....	26
3.2.1 Düz zincirli hidrokarbonlar.....	26
3.2.2 FDM içeren mikrokapsüllerin tekstil yüzeylerine uygulanması.....	28
3.2.3 FDM'lerin diğer kullanım alanları.....	30
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	33
4.1 Amaç.....	33
4.2 Faz Değiştiren Malzeme İçeren Mikrokapsül Üretimi.....	33
4.3 Üretilen Mikrokapsüllerin Tekstil Yüzeylerine Uygulanması.....	37
4.3.1 Kaplama malzemesi.....	37
4.3.2 Kaplama malzemesi içerisine mikrokapsül katılması.....	37
4.3.3 Mikrokapsüllerin kaplama malzemesi ile tekstil yüzeyine uygulanması.....	38

4.4 Üretilen Mikrokapsüllerin ve Kaplanmış Kumaşların Isıl Özellikleri.....	38
4.4.1 Sabit ısıtma altında kalorimetre ölçümleri.....	38
4.4.2 DSC: Diferansiyel taramalı kalorimetre.....	40
5. BULGULAR	43
5.1 Kalorimetrede Saf Suyun Isıtılması.....	43
5.2 Kalorimetre İle Saf n-Hekzadekanın Isıl Davranışının Ölçümü.....	45
5.3 Öz Malzeme n-Hekzadekan İçeren Mikrokapsüllerin Isıl Ölçümleri.....	47
5.4 Öz Malzeme n-Heptadekan İçeren Mikrokapsüllerin Isıl Ölçümleri.....	52
5.5 Öz Malzeme n-Oktadekan İçeren Mikrokapsüllerin Isıl Ölçümleri.....	53
5.6 Öz Malzeme n-Hekzadekan ve Gümüş İçeren Mikrokapsüllerin Isıl Ölçümleri.....	55
5.7 Üretilen Mikrokapsüllerin Kalorimetre Testlerinin Toplu Sonuçları.....	57
5.8 Mikrokapsül Katılmış İnce Film Tabakalarının DSC Ölçüm Sonuçları.....	58
5.9 Mikrokapsül İçeren Film Tabakalarının DSC Analizleri Toplu Sonuçları	61
5.10 Mikrokapsül Kaplanmış Kumaşların DSC Analiz Sonuçları.....	62
5.11 Mikrokapsül Kaplanmış Kumaş Numunelerinin DSC Analizleri Toplu Sonuçları.....	65
6. GENEL TARTIŞMA	67
6.1 Gelişmiş Isıl Özellikleri Olan Bir Giysi Modellemesi.....	68
6.1.1 Modellemede kullanılan ısı transferi denklemleri.....	68
6.2 Giysi Tasarımı.....	69
6.2.1 Soğuk iklim koşullarında çalışan işçi kıyafeti modellenmesi.....	70
6.2.2 Soğuk iklim koşulları için bir dağcı kıyafeti modellenmesi.....	72
6.3 Öneriler.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	77

KISALTMALAR

FDM	: Faz değiştiren malzemeler
MC	: Mikrokapsül
DLV	: Bayer Chemicals tarafından üretilen poliüretan bazlı bir malzeme İmpranil DLV/1
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
NASA	: Amerikan uzay dairesi
PEG	: Poli etilen glikol
PVC	: Poli vinil klorür
PPD	: (predicted percentage of dissatisfaction) tercih edilen ortalama değerden memnun olmayanların yüzdesi.
PMV	: (predicted mean vote) Tercih edilen ortalama değer
ASHRAE	: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Amerikan ısıtma, soğutma, havalandırma, mühendisleri birliği.
CO₂	: Karbondioksit
I_{cl}	: Giysilerin toplam ısı yalıtımı
c	: Maddenin öz ısısı, bir maddeyi belirli bir fazda 1 °C ısıtmak için gerekli olan enerji. (Jg ⁻¹ °C ⁻¹)
L	: Faz değişim ısısı, bir fazdan diğer faza geğerken 1 g maddenin aldığı enerji miktarı. (Jg ⁻¹),
Q	: Kazanılan yada kaybedilen toplam ısı (J)
ΔQ/Δt	: Birim zamanda kazanılan ya da kaybedilen ısı (W)
ΔH	: 1 g maddenin entalpisindeki değişim (Jg ⁻¹),
m	: Kütle (g)
t	: Zaman (s)
T	: Sıcaklık (°C)
A	: Alan (m ²)
k	: Isı iletim katsayısı (W°C ⁻¹ m ⁻¹)
x	: Isı geçen yüzeyin kalınlığı (m)
K	: Sabit kalınlıktaki belirli bir yüzeyin ısı iletim katsayısı (W °C ⁻¹)
U	: Isıl iletkenlik (Wm ⁻² °C ⁻¹)
R	: Isıl direnç (m ² °CW ⁻¹)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : İnsan hakkında ortalama biyofizik veriler	5
Çizelge 2.2 : Vücut içi sıcaklık değişimlerinin etkileri.....	6
Çizelge 2.3 : Farklı meşguliyet hallerinde ortalama yetişkin bir insandan yayılan ısı ..	8
Çizelge 2.4 : Çeşitli kıyafetlerin kabul edilen ısı yalıtım değerleri (ASHRAE standart 55-2004 Çizelge B1).....	10
Çizelge 2.5 : Çeşitli giysilerin (tek parça) kabul edilen ısı yalıtım değerleri (ASHRAE standart 55–2004 Çizelge B2).....	11
Çizelge 2.6 : Rüzgâr hızının hissedilen sıcaklığa etkileri	14
Çizelge 2.7 : Isıl konfor koşulları (ASHRAE 1992).....	15
Çizelge 2.8 : 500 kgm ⁻³ yoğunlukta sıkıştırılmış liflerin ısı iletkenliği	17
Çizelge 3.1 : Hidrokarbonların özellikleri	27
Çizelge 4.1 : Deneysel çalışmada FDM olarak kullanılacak hidrokarbonlar	34
Çizelge 4.2 : Üre ve Formaldehitin özellikleri	34
Çizelge 4.3 : Üretilen mikrokapsüller ve kodlama	36
Çizelge 4.4 : Kaplama malzemesi – mikrokapsül karışım çizelgesi	37
Çizelge 4.5 : Seçilen numuneler ve kaplama reçeteleri	38
Çizelge 5.1 : Üretilen mikrokapsüllerin toplu kalorimetre analizleri:	57
Çizelge 5.2 : Üretilen film tabakalarının toplu karşılaştırmalı DSC sonuçları:	62
Çizelge 5.3 : Mikrokapsül ihtiva eden kumaşların karşılaştırmalı DSC sonuçları:	66
Çizelge 6.1 : Değişik faaliyetlerde ve değişik dış ortam sıcaklıklarında ısı denge için giysinin sahip olması gereken toplam ısı direnç.....	70
Çizelge 6.2 : Model 1: Soğuk iklimde çalışan işçi kıyafeti tasarımı	71
Çizelge 6.3 : Model 2 : Soğuk iklimler için bir dağcı kıyafeti tasarımı.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çıplak insan vücudundan ısı atım yolları	6
Şekil 2.2 : PPD - PMV Grafiği.....	13
Şekil 2.3 : Belirli şartlar için kıyafete göre çevresel konfor sıcaklıkları.....	13
Şekil 2.4 : 0,2 dtex Thinsulate liflerin mikroskop altındaki görüntüsü	18
Şekil 2.5 : Dupont firmasının ürettiği Hollofil liflerin görüntüsü	18
Şekil 2.6 : Dupont firmasının ürettiği “coolmax” lifleri görüntüsü.....	19
Şekil 2.7 : FDM'li mikrokapsüller (a) kumaş üzerine kaplanmış (b) lif içerisine hapsedilmiş.....	20
Şekil 3.1 : Düz zincirli hidrokarbonların şematik gösterimi. Hexadecane : $C_{16}H_{34}$	27
Şekil 4.1.: Poliürea formaldehit polimerleşmesinin şematik gösterimi	35
Şekil 4.2.: Kalorimetre ölçüm düzeneği.....	39
Şekil 4.3.: Perkin Elmer DSC 4000 cihazı	40
Şekil 4.4.: a) DSC ölçüm odacığı b) DSC numune kapsülü ve kapağı.....	40
Şekil 5.1 : Saf suyun kalorimetre ölçümü.	43
Şekil 5.2 : Saf n-hekzadekanın kalorimetre ölçümü.	45
Şekil 5.3 : MCC16R1A1 numunesinin kalorimetre ölçümü	48
Şekil 5.4 : MCC16R1A2 numunesinin kalorimetre ölçümü	49
Şekil 5.5 : MCC16R1A3 numunesinin kalorimetre ölçümü	50
Şekil 5.6 : MCC16R1A4 numunesinin kalorimetre ölçümü	51
Şekil 5.7 : MCC17R1C1 numunesinin kalorimetre ölçümü	52
Şekil 5.8 : MCC18R1B1 numunesinin kalorimetre ölçümü	53
Şekil 5.9 : MCC18R1B2 numunesinin kalorimetre ölçümü	54
Şekil 5.10 : MCAgC16R1H1 numunesinin kalorimetre ölçümü	55
Şekil 5.11 : MCAgC16R1G1 numunesinin kalorimetre ölçümü.....	56
Şekil 5.12 : DLV/1 kontrol film tabakasının DSC analizi.	58
Şekil 5.13 : MCC16R1A4 içeren DLV-F6 film tabakasının DSC analizi.	59
Şekil 5.14 : MCC16R1A1 içeren DLV-F6-1 film tabakasının DSC analizi.	59
Şekil 5.15 : MCAgC16R1H1 içeren DLV-F10 film tabakasının DSC analizi.	60
Şekil 5.16 : MCC18R1B1 içeren DLV-F13 film tabakasının DSC analizi.	61
Şekil 5.17 : DLV-C7 numunesinin DSC ölçümü.	62
Şekil 5.18 : DLV-C9 numunesinin DSC ölçümü.	63
Şekil 5.19 : DLV-C10 numunesinin DSC ölçümü.	63
Şekil 5.20 : DLV-C13 numunesinin DSC ölçümü.	64
Şekil 5.21 : DLV-C14 numunesinin DSC ölçümü	65

MİKROKAPSÜL ÜRETİMİ İLE TEKSTİL YÜZEYLERİNİN ISIL ÖZELLİKLERİNİ İYİLEŞTİRME OLANAKLARI

ÖZET

Son yıllarda küreselleşen dünya pazarında artan rekabet, tekstil sektörünü katma değeri yüksek ürünlerin üretimine zorlamaktadır. Yapılan bu çalışmada da temel amaç, tekstil ürünlerine bir artı özellik katmaktır.

Bu çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın amacı anlatılarak, faz değiştiren malzemelerin mikrokapsüllemesi ve kumaşa katılması ile hedeflenen ısıl konfor tarif edilmiştir.

Yapılan çalışma bir giysi tasarımına zemin olacağı için, ikinci bölümde insan bedeni ve insan bedeninin çevre ile ısı alış veriş, hakkında literatür bilgisi sunulmuştur. İnsanın farklı konumlarda çevresine yaydığı vücut ısısının sayısal değerleri, çizelgelerle sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, faz değiştiren malzemeler ve faz değişim ısıları hakkında temel bilgiler verilmiştir. Çalışmada kullanılacak düz zincirli hidrokarbonlar tanıtılmıştır. Genel mikrokapsülleme teknikleri hakkında özet bilgi sunulmuştur. Mikrokapsülleme ve faz değiştiren malzemeler ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan özet bilgi sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, deneysel çalışmada kullanılan ölçüm metotları tarif edilmiştir. Kullanılan eş zamanlı kalorimetre düzeneği ve çalışma prensibi anlatılmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetre tanıtılarak, çalışma prensibi anlatılmıştır. Son olarak bir tekstil kaplama malzemesi olan, su bazlı poliüretan dispersiyonu, Bayer Impranil DLV/1 hakkında bilgi ve söz konusu malzemeye mikrokapsül katma denemeleri ve kumaş kaplama metodu anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, üretilen mikrokapsül numuneleri, film tabakaları ve kaplanmış kumaşların analizlerine yer verilmiştir. Yapılan ölçümler ve sonuçları sunulmuş, sonuçlar toplu olarak karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Altıncı ve son bölümde ise yapılan çalışmalar sonunda mikrokapsüllemeye elde edilen başarı tartışılarak, elde edilen mikrokapsüller ile dinamik ısı yönetimi olan gelişmiş ısıl özellikli bir kıyafet tasarımı için matematik modelleme yapılmıştır. Üretilen mikrokapsüllerin uygulama alanları tartışılmıştır.

SUITABLE MICROCAPSULE PRODUCTION TO IMPROVE THERMAL PROPERTIES OF TEXTILE SURFACES

SUMMARY

Nowadays, because of the hard competition at the international market, textile production is forced to produce more sophisticated products. In this study, a new property to add textile surfaces is searched.

This study has six main parts. In the first section, brief information about the aim of this project is given. And the reason of micro encapsulation of phase change materials is described.

The final goal of this study is to improve the thermal comfort of a human, and in the second section a human body is examined. General characteristics of an average human being are listed. And also thermal behavior of the human body is described. While sleeping, walking or working how much thermal energy does a human body produce is listed briefly.

In the third section, the technical specifications of the phase change materials are described. Also properties of hydrocarbons that were used as phase change material are listed. Then in this section micro encapsulation techniques are described. Also general information about the other researchers' studies is given.

Fourth section explains the experimental study. Here the thermal measuring devices used for the microcapsules are described. The calorimeter established with thermocouple is described. And also general information about the DSC (differential scanning calorimeter) is given. This section also includes microcapsule incorporation into Bayer Impranil DLV/1, which is water base polyurethane, is explained for the different trials.

Fifth section includes all the measurements done with microcapsules, microcapsule - DLV/1 mixtures, and microcapsule incorporated fabrics. Thermal properties of all the samples are explained.

On the final section, the success of the micro encapsulation process is discussed and the best microcapsules produced are examined. And a mathematical model for special clothes containing microcapsules is suggested. With the model it is showed that these microcapsules can have a wide range of application area.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Teknolojinin hızla geliştiği dünyamızda, her alanda insan konforunu arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Giderek kalabalıklaşan dünya nüfusu ve sınırlı kaynaklar, insanoğlunu sınırlı kaynakları daha verimli kullanabilme konusunda çalışmalara yöneltmiştir.

İnsanoğlu 20. yüzyılda yaptığı sanayi devrimi ile kendi konforu için dünya kaynaklarını hızla tüketmeye başlamıştır. Bu kontrolsüz kaynak kullanımı, bir yandan çevreyi kirletirken, bir yandan da atmosferde değişimlere sebep olmaktadır. Gelecekte dünyamızın yaşanamaz hale gelmesini engellemek için bugün enerji verimliliği en önemli konulardan biri haline gelmiştir.

Enerji değişik formlarda etrafımızda bolca bulunmaktadır; fakat insanoğlu ilk çağlardan günümüze ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük kısmını bir şeyleri yakarak elde etmiştir. 20. yüzyıl teknolojisi de enerji ihtiyacının çoğunu fosil yakıtlarla çözmüştür. Fakat gitgide artan enerji talebi, kontrolsüz CO₂ salınımı ile atmosferi kirleterek, dünyanın hassas dengesinde değişimlere sebep olmuş, insanlığın karşısına küresel ısınma gibi bir problemi çıkarmıştır. Diğer yandan fosil yakıtların oluşturduğu dünya enerji piyasası, belirli ülkelerin ellerinde stratejik bir silaha dönüşmüştür. Fosil yakıtlara kökten bağlı bir sistemde, yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar ile ekonomiler sarsılmakta ve küresel güç haline gelen ülkeler, ellerinde bulundurdıkları bu enerji kozu ile ülkeleri kendilerine bağımlı hale getirmektedirler.

21. yüzyılda ise, alternatif temiz enerji kaynakları araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Hidroelektrik santrallerinden sonra; güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi vb. enerji kaynaklarının kullanımı da günden güne gelişmektedir. Enerjideki bu kaynak değişikliğinin getirdiği en önemli problem, enerjinin depolanabilmesidir. Fosil yakıtlardaki depolama kolaylığı, bu yeni enerjilerde yoktur. Enerjinin depolanması konusunda, çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Enerjinin depolanmasında, kimyasal pillerle birlikte ısı depolama da geliştirilen sistemler arasındadır. Isıl depolamada, depolayıcı olarak faz değıştiren malzemeler (FDM) kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalarda ve geliştirilen sistemlerde, genel olarak kullanılan faz değıştiren malzemeler: hidrat tuzları, yağ asitleri ve düz zincirli hidrokarbonlardır[1,2,3,4,5].

FDM'ler ile ısı depolanması, ısıtma-havalandırma sistemlerinde ve inşaat sektöründe uygulama alanı bulmaya başlamıştır. FDM kullanımı ile FDM'nin kullanıldığı ortamda oluşan fazla ısı depolanıp, ihtiyaç duyulan zamanda geri salınmaktadır.

FDM'ler son yıllarda tekstil yüzeylerine de uygulanmaya başlamış ve bu konudaki araştırmalar yoğunlaşmıştır. Bir koruyucu kabuk malzeme içersine hapsedilen malzeme, faz değışimi esnasında ısı alış verişi yapmaktadır. Kapsül adı verilen kabuk içersindeki malzemenin, akması, uğması, bozunması, engellenmekte ve kabuk içindeki malzeme, ısı alışverişini sürekli yapabilmektedir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Tekstil uygulamalarında, ısı özellikler genellikle ısı yalıtımı ile özdeşleştirilmiştir. Isı yalıtımını arttırmak için önceleri kalın yüzeyler kullanılırken, daha sonra çok katlı kumaşlar tasarlanmış, ardından içersine hava hapsolabilen kabarık yapılar yönelinmiştir. Tüm bu uygulamalar, insan bedeni ile dış ortam arasında bir ısı yalıtımı sağlamak amacına yöneliktir. Bu tarz bir ısı yalıtımı, belirli sabit koşullar altında insana konfor sağlayabilirken, değışken dış koşullar veya değışken aktiviteler söz konusu olduğunda, kısa sürede insanın konfor dengesi bozulmaktadır.

Isıl kapasitesi artırılmış bir tekstil malzemesi üretimi, göreceli yeni bir konudur. Burada amaç, tekstil malzemelerinin sadece ısıyı iletmesini kontrol etmek değil, aynı zamanda malzemelerin ısı alış verişi yaparak ve ısı depolayarak, ısı yönetiminde aktif bir rol almasını sağlamaktır. Tekstil sanayinde kullanılan malzemelerin belirli ısıl kapasiteleri vardır. Bu malzemelerin ısıl kapasitelerini istediğimiz sıcaklık aralıklarında arttırarak en yüksek ısıl konfor elde etmek, bu tezin ana konusudur.

Tekstil yüzeylerinin ısıl kapasitelerini arttırmak için, faz değıştiren malzemelerden yararlanılmıştır. Bu amaçla, mikrokapsüller içersine hapsedilmiş faz değıştiren malzemeler, bir kaplama malzemesi yardımı ile kumaş yüzeyine kaplanmıştır.

Üretimi planlanan tekstil mamulünün nihai kullanımında beklenen ısıl davranışları, o ürünün sahip olması gereken ısıl direnci ve ısıl depolama kapasitesini

belirlemektedir. Beklenen ısı depolama sıcaklık aralığı ve ısı depolama miktarı ile üretilecek kumaş üzerine kaplanacak malzemenin cinsi ve miktarı tasarlanmıştır.

2. İNSAN BEDENİ VE ISIL KONFOR

Beden konforunu sağlamak amacı ile ısı özellikleri geliştirilmiş bir tekstil malzemesi üretiminde, öncelikle insan bedeni ile ilgili veriler incelenmeli ve istenen konfor şartları tanımlanmalıdır.

2.1 İnsan Metabolizması

2.1.1 İnsan hakkında ortalama biyofizik veriler

İnsan hakkında ortalama biyofizik veriler, Çizelge 2.1 de verilmiştir[24]. İnsan vücudunun iç sıcaklığının 36,5–37 °C olmasına karşın, cilt sıcaklığının 32–33 °C aralığında olması önemli bir detaydır. Ortalama bir insan vücudunun yüzey alanı, 1,8 m² olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 2.1 : İnsan hakkında ortalama biyofizik veriler

Özellik	Değeri
Ağırlığı	60...70 kg
Hacmi	60 dm ³
Yüzey alanı	1,7-1,9 m ²
Vücut sıcaklığı	36,5 – 37 °C
Ortalama cilt sıcaklığı	32....33 °C
Sürekli gücü	85 W
Nabız atışı	70....80 dk. ⁻¹
Isı üretimi	70....80 W
Nefes sayısı	16 dk. ⁻¹
Nefes hava miktarı	0,5 m ³ sa. ⁻¹
CO ₂ verışı	1023 Lsa. ⁻¹

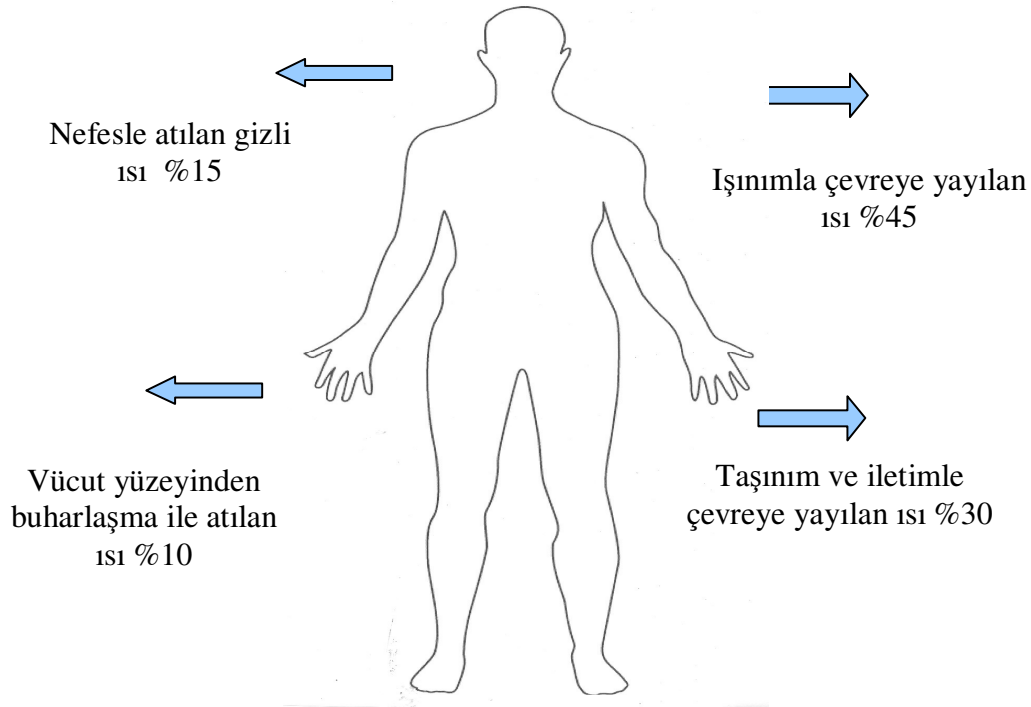
İnsan vücudunda, metabolizma faaliyetleri esnasında ortaya çıkan ısı ile vücut iç sıcaklığı sabit (36,5 – 37 °C) tutulur. Kan dolaşımı, ter bezleri ve nefes yoluyla vücutta bir ısı denge sürekli korunur. Vücut iç sıcaklığının bu hassas dengesi, hayati

önem taşır. Çizelge 2.2 de görüldüğü gibi, vücut içi sıcaklığındaki 4–5 °C’lik değişimler insanı ölüme götürebilmektedir [6].

Çizelge 2.2 : Vücut içi sıcaklık değişimlerinin etkileri

42 °C (315 °K)	Ölüm.
41 °C (314 °K)	Terleme durur, koma hali ve beyinde hasar başlar.
40 °C (313 °K)	Havale hyperthermia. Tende çatlamlar oluşur, aşırı terleme (4 lsa.^{-1}) gözlenir.
37 °C (310 °K)	Normal sağlıklı vücut sıcaklığı.
35 °C (308 °K)	Hypothermia (vücut iç sıcaklığında aşırı düşüş). Titreme (kasılmalarda artış) saçlarda dikleşme gözlenir.
25 °C (298 °K)	Ölüm.

2.1.2 İnsan bedeninin ısı dengesi



Şekil 2.1 : Çıplak insan vücudundan ısı atım yolları

İnsan bedeninde sürekli üretilen ısı, bedenin faaliyeti arttıkça artmaktadır. Isıl dengeyi sağlayabilmek için deri yüzeyinden ısıma, buharlaşma ve taşınım yollarıyla, ayrıca nefes yoluyla dış ortama fazla ısı atılmaktadır. Çıplak insan vücudundan ısı atım yolları, Şekil 2.1 de şematik olarak gösterilmiştir [7,8]. Çevresel ortamdaki

değişiklikler, insan vücudundaki dengeyi bozabilmektedir. İnsan, çevresel koşullardaki değişimlerden kendini korumak için giyinmektedir. Giysilerle bedenden yayılan ısı kontrol altına alınmaktadır.

2.2 Isıl Konfora Etki Eden Faktörler

Isıl konfor, basit olarak kişinin çevresel şartlarından memnun olması şeklinde tanımlanabilir. Isıl konforu etkileyen çok fazla değişken vardır. Fizyolojik ve psikolojik yapının insandan insana değişik olması sebebiyle, herkes için geçerli bir ısı konfor tanımlamak güçtür. Yapılan istatistiksel çalışmalar sonucunda, çoğunluğun tatmin olacağı, ortalama bir ısı konfor tanımlamak mümkün olmuştur. Temel olarak, ısı konforu etkileyen altı ana etken olduğu kabul edilmiştir.

- Metabolizma hızı
- Giysilerden oluşan yalıtım
- Hava sıcaklığı
- Çevredeki maddelerin sıcaklıkları (Işıma miktarları)
- Çevresel hava hızı
- Ortam nemi

Bu altı değer ile sabit bir ortamda konfor tanımlanabilir. Tanımlanan bu ortama dışarıdan giren bir insan, geldiği ortama bağlı olarak ilk anda kendini konforlu hissetmeyebilir. Ortama alışması için 1 saat beklenmesi tavsiye edilir. Isıl konforu etkileyen altı ana etkenin dışında, farklı koşullarda etkin, ikinci derece etkenler de vardır [6].

2.2.1 Metabolizma hızı

Isıl konforu tanımlarken kullanılan değişkenlerden birincisi “metabolizma hızı”dır. Metabolizma hızı ‘met’ birimi ile tanımlanır. 1 met, oturan ortalama bir insanın metabolizma hızı olarak kabul edilmektedir. 1 met ile tanımlanan bu konumda, bir insan vücudunda $58,2 \text{ Wm}^{-2}$ ’lik bir enerji üretildiği kabul edilmektedir. (Ortalama bir insan vücudu $1,8 \text{ m}^2$ olarak kabul edilmektedir). Met değerlerinin hassas ölçümü için, kontrollü laboratuvar şartları gereklidir.

Çizelge 2.3 : Farklı meşguliyet hallerinde ortalama yetişkin bir insandan yayılan ısı.

Aktivite	Metabolizma ısısı		
	'met' birimi	Wm ⁻²	Btu h ⁻¹ ft ⁻²
Dinlenirken			
Uyurken	0,7	40	13
Uzanırken	0,8	45	15
Sakin otururken	1,0	60	18
Sakin ayakta dururken	1,2	70	22
Yürürken (Düz bir yüzeyde)			
0,9 ms ⁻¹ , 3,2 kmsa. ⁻¹ , 2,0 mph	2,0	115	37
1,2 ms ⁻¹ , 4,3 kmsa. ⁻¹ , 2,7 mph	2,6	150	48
1,8 ms ⁻¹ , 6,8 kmsa. ⁻¹ , 4,2 mph	3,8	220	70
Ofis işleri			
Oturarak, okuma veya yazma	1,0	60	18
Daktilo yazma	1,1	65	20
Hafif işler oturarak	1,2	70	22
Hafif işler ayakta	1,4	80	26
Yürüyerek yapılan getir-götür işleri	1,7	100	31
Paketleme, paket taşıma	2,1	120	39
Araç kullanma			
Otomobil sürme	1,0 – 2,0	60 – 115	18 – 37
Uçak, rutin uçuş	1,2	70	22
Uçak iniş-kalkış	1,8	105	33
Uçak, savaş uçağı	2,4	140	44
Ağır iş makinesi	3,2	185	59
Çeşitli aktiviteler			
Yemek yapmak	1,6 – 2,0	95 – 115	29 – 37
Ev temizliği yapmak	2,0 – 3,4	115 – 200	37 – 63
Oturarak el ile yapılan işler	2,2	130	41
Makine ile testere/ kesme	1,8	105	33
Aydınlatma (elektrik işleri)	2,0 – 2,4	115 – 140	37 – 44
Ağır makine işleri	4,0	235	74
50 kg çanta taşımak	4,0	235	74
Kazma kürek ile çalışmak	4,0 – 4,8	235 – 280	74 – 88
Çeşitli eğlence aktiviteleri			
Dans etmek	2,4 – 4,4	140 – 255	44 – 81
Jimnastik	3,0 – 4,0	175 – 235	55 – 74
Tenis tekler	3,6 – 4,0	210 – 270	66 – 74
Basketbol	5,0 – 7,6	290 – 440	92 – 140
Güreş müsabakası	7,0 – 8,7	410 – 505	129 – 160

Deneklerin, belirli koşullarda, belirli sabit bir işi yaparken, ürettikleri ısı miktarları ölçülerek hazırlanan, ortalama metabolizma hızları Çizelge 2.3'te verilmiştir[6,9]. Bu çizelgedeki değerler, bir insanın sürekli aynı işi yaptığı kabul edilerek hesaplanmıştır. Bunların dışındaki karma aktivitelerde, bu değerler temel alınarak hesaplanabilir. Eğer birkaç aktivite bir anda yapılıyor ise basit matematiksel metot ile gerçek değer hesaplanabilir. Örneğin; bir insan bir saatinin 30 dakikasını paket taşıyarak, 15 dakikasını ayakta hafif işler yaparak ve 15 dakikasını da etrafta dolaşarak geçiriyorsa: metabolizma ısısı $[(0,5 \times 2,1) + (0,25 \times 1,4) + (0,25 \times 1,7)] = 1,8$ met = 105 Wm^{-2} olarak hesaplanabilir.

2.2.2 Giysilerden oluşan yalıtım

Isıl konfor tanımında kullanılan bir diğer değer, giyinme ısı yalıtım değeridir. En sık kullanılan giyinme ısı yalıtım birimleri 'clo' ve 'tog' tur. Tog genel olarak askeri kıyafetlerin sınıflandırılmasında kullanılır. Bir kumaşın iki yüzeyi arasında $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkı oluştuğunda 1 Wm^{-2} ısı akışı oluşuyorsa, o kumaşın ısı yalıtım değeri 1 tog olarak tanımlanır.

ASHRAE standartlarında, giyinme ısı yalıtımı, clo birimi ile hesaplanır. Ortalama bir insanın, 1 met metabolizma hızında, oturarak dinlenirken, çevre sıcaklığı 21°C iken ve $0,1 \text{ ms}^{-1}$ çevresel hava hızında, vücut ısını sabit tutacak giysi birleşiminin ısı yalıtım miktarı, 1 clo olarak tanımlanmıştır.

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{CW}^{-1} (0,88 \text{ ft}^2\text{h}^{\circ}\text{FBtu}^{-1}).$$

$$1 \text{ clo} = 1,55 \text{ tog}$$

Farklı giysi birleşimleri için ısı yalıtım değerleri çizelge 2.4 de verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Çeşitli kıyafetlerin kabul edilen ısı yalıtım değerleri (ASHRAE standart 55-2004 Çizelge B1)

Kıyafet açıklaması	Giysiler	I _{cl} (clo)
Pantolon	1) Pantolon ve kısa kollu gömlek	0,57
	2) Pantolon ve uzun kollu gömlek	0,61
	3) #2 artı ceket	0,96
	4) #2 artı ceket, atlet, yelek	1,14
	5) #2 artı hırka, kısa kollu atlet	1,01
	6) #5 artı ceket, uzun içlik	1,30
Etek ve giysiler	7) Dize kadar etek, kısa kollu gömlek (sandalet)	0,54
	8) Dize kadar etek, uzun kollu gömlek, tam iç çamaşır	0,67
	9) Dize kadar etek, uzun kollu gömlek, yarım iç çamaşır uzun kollu hırka	1,10
	10) Dize kadar etek, uzun kollu gömlek, yarım iç çamaşır, ceket	1,04
	11) Ayak bileğine kadar etek, uzun kollu gömlek, yarım iç çamaşır, ceket	1,10
Kısa pantolon	12) Kısa pantolon, kısa kollu gömlek	0,36
Elbiseler /.Tulumlar	13) Uzun kollu uzun elbise, kısa kollu atlet	0,72
	14) Tulum, uzun kollu gömlek, kısa kollu atlet	0,89
	15) Yalıtımlı tulum, uzun kollu termal içlik (alt + üst)	1,37
Spor kıyafeti	16) Uzun kollu eşofman takımı	0,74
Pijama	17) Uzun kollu üst pijama, uzun alt pijama, 3/4 kısa sabahlık (terlik, çorap yok)	0,96

Tüm kıyafet birleşimleri eğer parantez içerisinde aksi belirtilmemiş ise ayakkabı çorap ve külot içerir. Etekli birleşimlerde çorap yerine külotlu çorap içerir.

Bulunulan ortama göre genel kabul gören toplam giyinme ısı yalıtım değerleri, şu şekilde örneklenebilir. 20 °C’lik bir ofis ortamında giyilen ofis kıyafetlerinin toplam direnci olarak 1 clo ; -5 °C’de giyilen kayak kıyafetlerinin toplam direnci olarak 2 clo; -20 °C’de hareketsiz bir insan için gerekli ısı direnci 4 clo kabul edilmektedir. 8 – 9 clo da, kutup ikliminde bir uyku tulumu için gerekli toplam ısı direnci olarak örneklenebilir.

Çizelge 2.5’te ise, clo cinsinden tek tek giysilerin yalıtım değerleri verilmiştir. Bu iki çizelge kullanılarak, farklı kıyafetlerin yalıtım değerlerini de hesaplayabiliriz. Örneğin; Çizelge 2.4’te 5 nolu birleşimi giymiş bir insan, bunlara ilave olarak uzun alt içlik giyerse, toplam ısı yalıtımı $I_{cl} = (1,01 \text{ clo} + 0,15 \text{ clo}) = 1,16 \text{ clo}$ olur.

Çizelge 2.5 : Çeşitli giysilerin (tek parça) kabul edilen ısı yalıtım değerleri (ASHRAE standart 55–2004 Çizelge B2).

İç çamaşırlar	clo	Etekler ve elbiseler	clo
Sutyen	0,01	İnce etek	0,14
Külot	0,03	Kalın etek	0,23
Erkek külot	0,04	Kolsuz yuvarlak yaka elbise ince	0,23
Tişört	0,08	Kolsuz yuvarlak yaka elbise kalın	0,27
Yarım iç çamaşır	0,14	Kısa kollu elbise ince	0,29
Uzun alt içlik	0,15	Uzun kollu elbise ince	0,33
Tam iç çamaşır	0,16	Uzun kollu elbise kalın	0,47
Uzun üst içlik	0,20	Kazaklar	
Ayak giysileri		Kolsuz yelek ince	0,13
Bileğe kadar spor çorap	0,02	Kolsuz yelek kalın	0,22
Külotlu çorap	0,02	Uzun kollu yelek ince	0,25
Sandalet	0,02	Uzun kollu yelek kalın	0,36
Ayakkabı	0,02	Takım elbise ve yelek	
Terlik (kapitone)	0,03	Kolsuz yelek ince	0,10
Baldıra kadar çorap	0,03	Kolsuz yelek kalın	0,17
Dize kadar çorap (kalın)	0,06	Tek sıra düğmeli ince ceket	0,36
Bot	0,10	Tek sıra düğmeli kalın ceket	0,42
Gömlek - bluz		Çift sıra düğmeli kruvaze ince ceket	0,44
Kolsuz yuvarlak yaka bluz	0,13	Çift sıra düğmeli kruvaze kalın ceket	0,48
Kısa kollu örme spor gömlek	0,17	Gecelik pijama	
Kısa kollu bluz	0,19	Kolsuz kısa gecelik ince	0,18
Uzun kollu bluz	0,25	Kolsuz kısa gecelik kalın	0,20
Uzun kollu dokuma gömlek	0,34	Kısa kollu hastane kıyafeti	0,31
Uzun kollu kazak	0,34	Kısa kollu sabahlık ince	0,34
Pantolonlar		Kısa kollu pijama ince	0,42
Kısa şort	0,06	Uzun kollu uzun gecelik kalın	0,46
Yürüyüş şortu	0,08	Uzun kollu kısa sabahlık kalın	0,48
Düz pantolon ince	0,15	Uzun kollu pijama kalın	0,57
Düz pantolon kalın	0,24	Uzun kollu uzun sabahlık kalın	0,69
Kalın eşofman altı	0,28		
İçlik	0,30		
Tulum	0,49		

Bu çizelgeler hazırlanırken, ayakta hareketsiz duran bir insan referans alınmıştır. Metabolizma ısısı 1,2 met ve hareketsiz kabul edilmiştir. İnsan hareket ettiğinde, giysiler içerisinde hava hareketleri olacağı için, yalıtım değeri düşecektir. Burada bir düzeltme gerekir. 1,2 met ile 2,0 met arasında düzeltme şu denklemle yapılabilir.

$$I_{cl(hareket)} = I_{cl} \times (0,6 + \frac{0,4}{M}). \text{ Burada M, met değeri olarak metabolizma ısısını}$$

temsil etmektedir. 2,0 met'ten daha büyük metabolizma hareketlerinde, terleme de olabileceği için, daha karmaşık bir durum ortaya çıkacaktır[6,9].

2.2.3 Çevresel şartlar

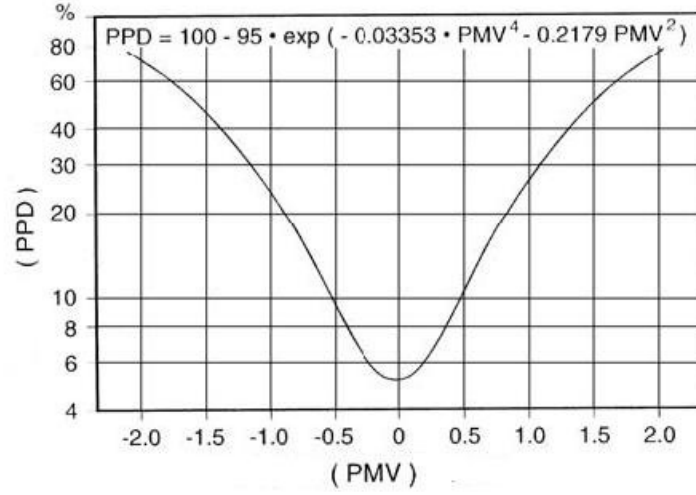
Isıl konfor düşünüldüğünde, insanların toplu halde bulundukları ortamların kontrol edilebilir çevresel koşullarını tanımlama ihtiyacı doğmuştur. Bir topluluğun ısı konforunu sağlamak kolay değildir. Grup içerisinde her bireyin metabolizma hızı, giyinme ısı yalıtımı, aynı değildir. Bir ortamın sıcaklığının ne kadar olması gerektiğini tanımlamak için, diğer faktörlerin ortalama değerlerini hesaplamalıyız. İstatistiksel metotla hesaplanan iki değer göz önüne alınarak, hesaplamalar yapılmaktadır [9].

PMV : (predicted mean vote) Tercih edilen ortalama değer: Bu değeri elde etmek için, belirli bir grup deneğe standart kıyafetler giydirilerek, standart bir iş yapmaları istenmektedir. Deneklerin bulunduğu ortamın iklim şartları değiştirilerek, deneklere nasıl hissettikleri sorulmakta ve aşağıdaki 7 değerden biri ile hissettiklerini tarif etmeleri istenmektedir.

- +3 çok sıcak
- +2 ılık
- +1 hafif ılık
- 0 normal
- 1 hafif serin
- 2 serin
- 3 soğuk

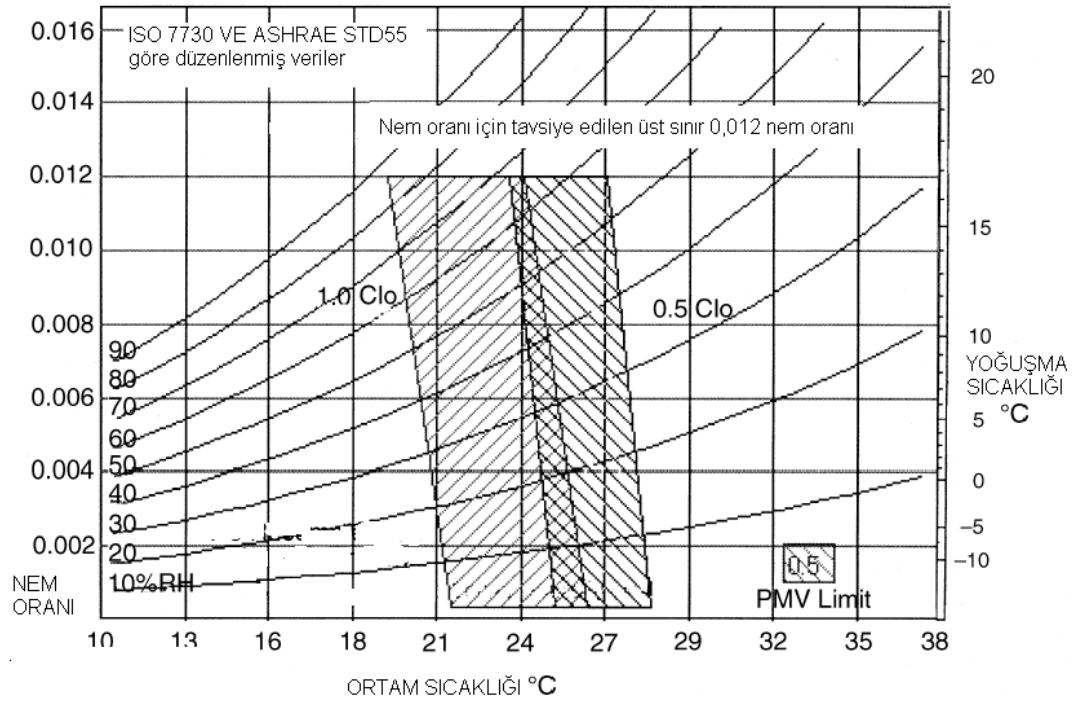
PPD : (predicted percentage of dissatisfaction) tercih edilen ortalama değerden memnun olmayanların yüzdesi. (+3, +2, -2, -3 seçenlerin yüzdesi)

Şekil 2.2'de, tercih edilen ortalama değer (PMV) ve ortalama değerden memnun olmayanların yüzdesi (PPD) bilgileri kullanılarak, çizilen şekil görülmektedir.



Şekil 2.2 : PPD - PMV Grafiği

PPD değerinin %10'dan düşük olması ve PMV değerinin de -0,5 ile +0,5 arasında olması durumuna, genel kabul edilebilir ısı konfor denmektedir. Şekil 2.3'teki grafik, bu sınırlar kabul edilerek hazırlanmıştır.



Şekil 2.3 : Belirli şartlar için kıyafete göre çevresel konfor sıcaklıkları.

Şekil 2.3 hazırlanırken, hava hızının $0,2 \text{ ms}^{-1}$ den düşük olduğu kabul edilmiştir. 0,5 clo ılık günlerde, 1,0 clo da serin günlerde giyilen kıyafetlerin, ortalama toplam ısı dirençleridir. Grafikte taralı alanlar konforlu sayılabilecek alanlardır. Örneğin 24°C sıcaklıkta ve %60 bağıl nemde (nem oranı 0,011) 0,5 clo ile 1,0 clo arasında ısı dirence sahip kıyafetleri olanların tümü konforlu hissedeceklerdir. Aynı koşullarda sıcaklık 22°C düşerse, 0,5 clo giyinenler artık serin hissedeceklerdir. Fakat 1,0 clo giyinenler hala konforlu bölgededir. Sıcaklık 26°C ye çıkartılırsa 0,5 clo giyinenler konforlu hissederken, 1,0 clo giyinenler sıcak hissetmeye başlar.

Ortamdaki hava hızı da diğer bir önemli parametredir. Hava hızı arttırıldığında hissedilen sıcaklık değeri düşmektedir. Bu ortam ısıtılırken dezavantajdır. Ortamın soğutulmak istendiği yaz aylarında ise, kontrollü bir hava akımı ile konfor sıcaklığını 3°C kadar yükseltmek mümkündür. Fakat hava hızındaki artış, hava akımından rahatsız olanların sayısının artması ile konforlu hissedenlerin oranını düşürecektir [27]. Çizelge 2.6'da çevresel rüzgâr hızının hissedilen sıcaklığa etkisi görülebilmektedir.

Çizelge 2.6 : Rüzgâr hızının hissedilen sıcaklığa etkileri

Rüzgâr hızı kmsa. ⁻¹	Ölçülen sıcaklık $^\circ\text{C}$												
	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
	Rüzgâr etkisi ile hissedilen sıcaklıklar $^\circ\text{C}$												
Durgun	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
	Hafif tehlike				Artan tehlike				Yüksek tehlike				

Isıl konforu etkileyen çevresel şartlar içinde, düşey sıcaklık farkları, çevreleyen duvar, tavan, yer sıcaklıkları, nem farkları gibi değişik etkenler vardır. Tüm bu değişkenler içinde belirli konfor limitleri tanımlanmıştır.

Ayrıca tüm etkenlerin, zamana karşı değişim hızı da önemlidir. Örneğin; 2 saat içerisinde ortam sıcaklığındaki yavaş yavaş gerçekleşen $2,8^\circ\text{C}$ 'lik değişimin konforu fazla etkilemediği, bunun yanında 5 dakika içerisinde $1,1^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde bir

sıcaklık farkının konforu etkilediği görülmüştür[6]. Çizelge 2.7’de yaz ve kış koşulları için ideal bir ofis ortamı özet olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 2.7 : Isıl konfor koşulları (ASHRAE 1992)

Mevsim	İdeal sıcaklık	Kabul edilebilir sıcaklık	Diğer ortalama konfor şartları
Kış	22 °C	20 - 23 °C	Bağıl nem: %50
			Ortalama bağıl hız: $< 0,15 \text{ ms}^{-1}$
			Ortalama çevre sıcaklığı: eşittir hava sıcaklığı
			Metabolizma hızı: 1,2 met
			Kıyafet yalıtımı: 0,9 clo
Yaz	24,5 °C	23 - 26 °C	Bağıl nem: %50
			Ortalama bağıl hız: $< 0,15 \text{ ms}^{-1}$
			Ortalama çevre sıcaklığı: eşittir hava sıcaklığı
			Metabolizma hızı: 1,2 met
			Kıyafet yalıtımı: 0,5 clo

2.2.4 Nem ve nem transferi

Isıl konforun diğer bir önemli etkeni de nemdir. İnsan vücudundan sürekli bir nem kaybı vardır. Giysiler vücuttan nemi difüzyon, emme, yoğuşma ve buharlaşma ile uzaklaştırır. İdeal bir giysi, soğuk veya sıcaktan korumak için yeterli ısı yalıtım özelliğine sahip olmasının yanında, yeterli hava ve nem geçişine izin vermeli, vücutta oluşabilecek terlemede, teri vücuttan hızla uzaklaştırabilmelidir.

Giysilerin ısı yalıtımı yüksekse, metabolizma hızı arttıkça vücuttan atılan ısı dengesi bozulur. Ciltteki sıcaklık artışı ile vücudun koruma mekanizması çalışır ve terleme başlar. Eğer giysilerimiz, terin buharlaşarak vücuttan uzaklaşmasına izin verirse vücudumuz soğuyabilir. Bu sebeple giysilerin hava geçirgenliği önemlidir.

Terleme ile yükselen nem, giysilerimiz tarafından emilerek dış ortama aktarılmalıdır. Ortamın nemi vücudun neminden düşük olduğunda, giysilerden dışarıya difüzyon ile bu ter atılır. Ters durumda ise, vücuttan uzaklaştırılamayan nem giysi içerisinde yoğuşur. Bu yoğuşma, giysinin gözeneklerini doldurur, gözenekleri dolan giysinin hava geçirgenliği azalır ve nem transferi düşer. Nem oranı artan giysinin ısı direnci (yalıtımı) azalır.

Tekstil malzemelerinin su emiciliği de, ısı konfor için önemlidir. Giysinin emdiği su ısı yalıtımını düşürür. Suyun ısı iletkenliği, kumaşlara göre 3 kat, kumaş içerisine hapsolmuş havaya göre 27 kat daha fazladır. Böyle bir durumda iç ortamdan soğuk bir dış ortama çıkıldığında, hızlı soğuma ile vücudun ısı mikro iklimi bozulur.

İç ortam şartları açısından, ortamın nemi belirli sınırlar içinde olmalıdır. Nemin yüksek olması durumunda, vücuttan dış ortama olan nem transferi düşmekte ve hissedilen sıcaklık termometre sıcaklığından daha yüksek olmaktadır [6].

2.3 Tekstil Yüzeyleri ve Isı Konfor

İnsanın konforlu hissetmesini sağlamak ve hassas vücut mikro iklimini korumak için çevresel şartları sürekli ayarlamak mümkün olmadığından, insanı değişen çevresel koşullardan koruyacak giysiler yaratma ihtiyacı doğmuştur.

2.3.1 Tekstil yüzeylerinde ısı özelliklerine etki eden faktörler

- ☐ Liflerin ısı iletkenliği ve içerdiği durgun hava miktarı
- ☐ Liflerin ısı depolama kapasitesi
- ☐ Kumaşın kalınlığı
- ☐ Kumaşın yoğunluğu (kumaş içerisindeki hava boşluklarının dağılımı ve sayısı)
- ☐ Kumaş yüzeyi (kullanılan lif cinsi, kumaş yapısı, kumaş bitim işlemleri)
- ☐ Kumaş ile temas ettiği yüzeyler arasındaki temas alanı
- ☐ Tenden kumaşa iletim ile geçen ısı
- ☐ Tenden kumaştan geçerek kumaş yüzeyinden dağılan taşınım yoluyla ısı kaybı
- ☐ Işıma ile ısı kaybı (tenin ve kumaş yüzeyinin ışıma emisyonları)
- ☐ Buharlaşma yoluyla tenden ve kumaştan ısı kaybı
- ☐ Kumaş tarafından emilen su ile ısı kazanımı ya da kaybı
- ☐ Dış atmosfer koşulları: sıcaklık, bağıl nem ve hava hareketleri

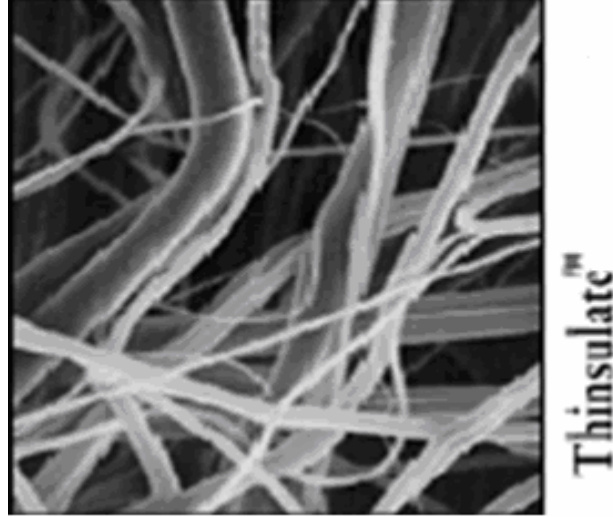
Çizelge 2.8 : 500 kgm⁻³ yoğunlukta sıkıştırılmış liflerin ısı iletkenliği

	(Wm ⁻¹ °C ⁻¹)
Pamuk	0,071
Yün	0,054
İpek	0,050
PVC	0,160
Selüloz asetat	0,230
Naylon	0,250
Polyester	0,140
Polietilen	0,340
Polipropilen	0,120

Çizelge 2.8’de tekstilde kullanılan çeşitli liflerin, belirli bir oranda sıkıştırılmış hallerindeki, ısı iletkenlikleri sıralanmıştır. Liflerin ısı iletkenlikleri yanında, lifler arasına hapsedilmiş havanın miktarı, kumaşın veya giysinin ısı iletkenliğini belirler. Örneğin; normal bir kumaşta %25 lif %75 hava boşluğu vardır, bu oran bir battaniyede %90’a, bir kürkte ise %95’e çıkar. Durağan havanın ısı iletkenliği, liflere oranla daha düşüktür (0,025 Wm⁻¹°C⁻¹). Bu sebeple, ısı yalıtım için daha fazla hava içeren kabarık yapılar tasarlanmaktadır[6].

2.3.2 Mikro lifler içeren tekstil yüzeyleri

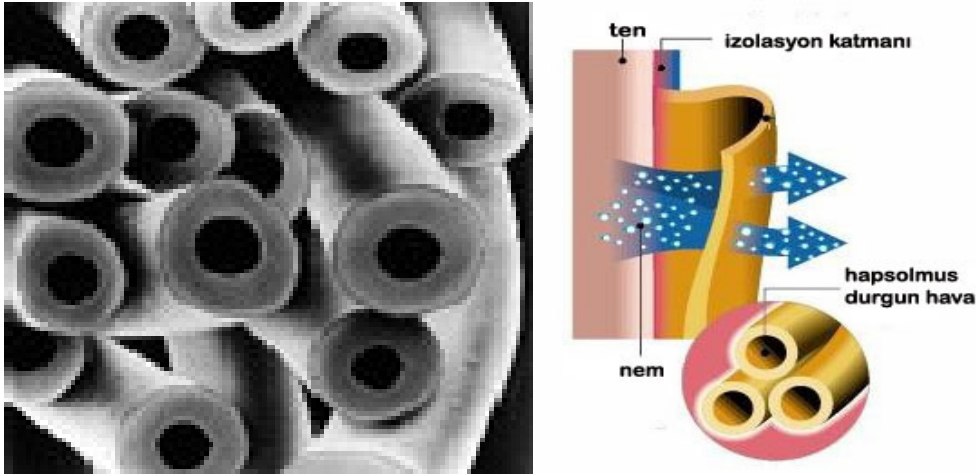
Daha kabarık, daha hafif ve ısı iletkenliği daha düşük bir yapı elde edebilmek için, daha ince liflere yönelinmiştir. Bu konuda birçok firma çalışmalar yapmaktadır. Mikro lif adı verilen bu grup üretim, sentetik iplikçilikte çok yaygınlaşmıştır. Şekil 2.4’te 3M firması tarafından üretilen, 0,2 dtex kalınlıktaki, mikro lifler görölmektedir. Thinsulate lifler (İngilizce ince ve yalıtım kelimelerinin bileşimi), ilk kez 1979’da piyasaya sürölmüştür. O günden bugüne, sürekli gelişerek daha ince lifler üretilmektedir. 0,2 dtex olarak üretilen lifler, birçok yalıtım liflerinden 10 kat daha incedir. İnce lifler, içerilerinde daha fazla hava hapsedebildikleri için, daha iyi bir yalıtım sağlar. Bu incelik sayesinde, birim alanda daha fazla lif vardır. Sık lif dokusu, vücudun yaydığı ışımayı geri yansıtarak, ışıma ile olan ısı kayıpları azaltmaktadır.



Şekil 2.4 : 0,2 dtex Thinsulate liflerin mikroskop altındaki görüntüsü.

2.3.3 Hava hapsedilmiş lifler içeren tekstil yüzeyleri

Isıl yalıtımı arttırmak fikri ile yapılan çalışmalardan biri de, Şekil 2.5'te görülen Dupont'un geliştirdiği Hollofil liflerdir. Lif çekimi esnasında, lifler ortasında hava boşluğu olan tüpler şeklinde çekilmektedirler. Lif içerisine hapsedilmiş hava, bir yandan lifleri daha yumuşak yaparken, diğer yandan ısı yalıtımı arttırmaktadır.

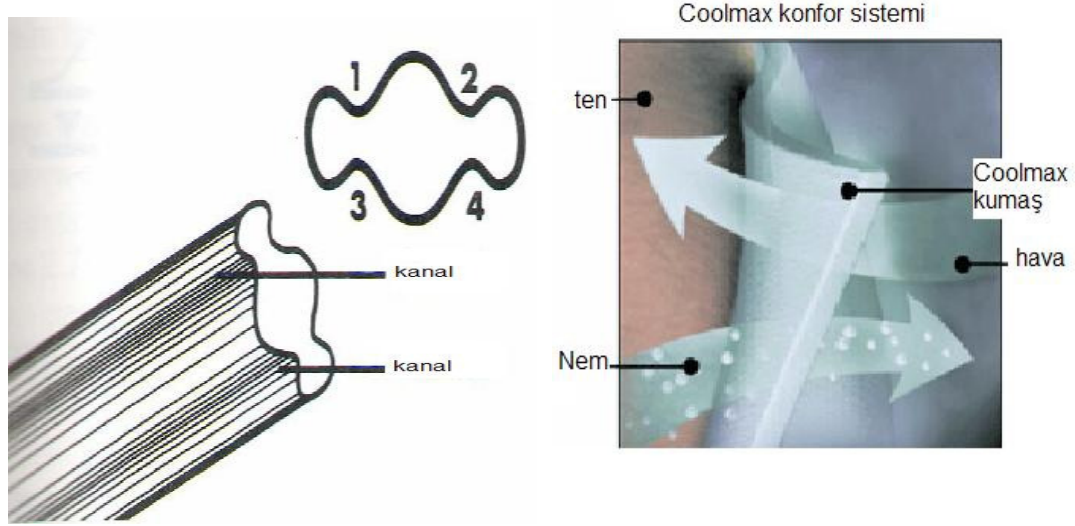


Şekil 2.5 : Dupont firmasının ürettiği Hollofil liflerin görüntüsü.

2.3.4 Hızlı nem transferi yapan lifler içeren tekstil yüzeyleri

Vücudun ısı konforu düşünülürken, en önemli parametre nemdir. Vücut aktivitesinin arttığı zamanlarda, kıyafetler oluşan ısıyı tamamını uzaklaştıramaz, bu durumda terleme söz konusu olur. Terleme ile cilt yüzeyinde oluşan nemin, ciltten giysilerle uzaklaştırılması gereklidir. Tekstil yüzeylerinin nem geçirgenliği, çok önemli bir parametredir. Nem geçirgenliği konusunda çalışmalar yapan Dupont firması,

"coolmax" markası ile özel kesit yüzeyli lifler üretmektedir. Şekil 2.6'da kesiti görülen liflerin, üzerinde bulunan 4 adet kanalcık, vücutta oluşan teri hızla kumaş dışına taşımaktadır. Özellikle spor giysilerde, bu lifler tercih edilmektedir.



Şekil 2.6 : Dupont firmasının ürettiği “coolmax” lifleri görüntüsü.

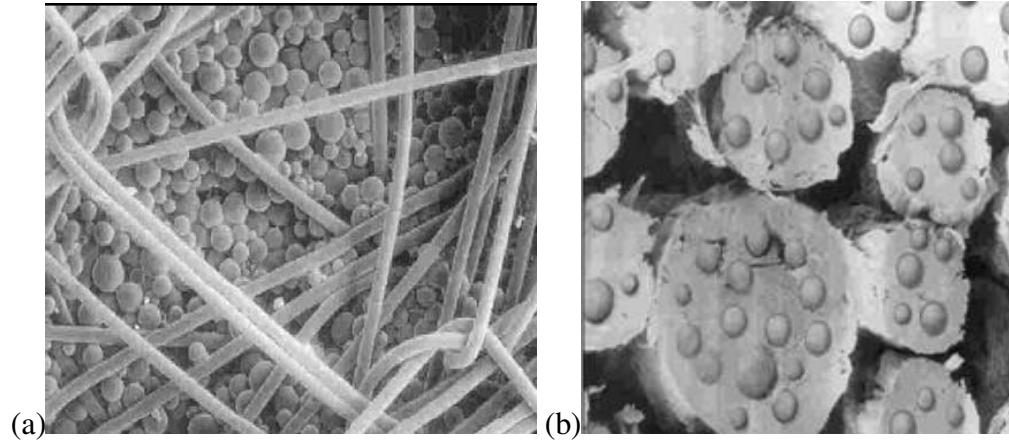
2.3.5 Isıl depolama kapasitesi arttırılmış tekstil yüzeyleri

Isıl depolama kapasitesi arttırılmış kumaşların tasarlanmasına, ilk defa Amerikan Uzay Dairesi (NASA) tarafından, astronotların uzay çalışmaları esnasında maruz kaldıkları yüksek sıcaklık farklarını dengeleyebilmek amacı ile başlanmıştır. İlk çalışmalarında NASA, FDM olarak nonadekan içeren mikrokapsüller üretmiştir. Bu çalışma, daha sonra uzay programından çıkarılsa da NASA, konuyu gündeme getirmiş ve daha sonra yapılan çalışmalara fikir vermiştir [7]. Bu konuda çalışan Triangle Research and Development Co. lisans hakkını Outlast Technologies'e (Boulder – Colorado) kazandırmıştır. NASA çalışmalarından elde ettikleri bilgi birikimi ile Outlast firması FDM içeren mikrokapsül uygulamalarında, çeşitli patentlere sahiptir. 1990 yılında kurulan firma, Aralık 2009 itibarı ile 26 ayrı patent sahibidir ve 32 adet patent başvurusu da halen incelenmektedir. Özel bir konu olarak seçtikleri, ısı özellikleri gelişmiş malzemeler üretimi konusunda, en önemli üreticilerden biridir. Thermocules® adını verdikleri mikrokapsülleri içeren, 50'nin üzerinde ürünleri (kumaş, iplik, lif, örme kumaş, dokuma kumaş, apre malzemeleri) vardır. Outlast firması kumaş ve lifler üzerinde kaplama ve lif içerisine kapsülleme gibi metotlar geliştirmiştir. Outlast®, Adaptive Comfort® (uygulanabilir konfor), Thermocules™, “not too hot not too cold®” (ne sıcak ne soğuk), firmaya ait lisanslı

markalardır. Dünya üzerinde 60 ülkede markasını tescil ettirmiş olan Outlast firması 200'ün üzerinde firma ile hali hazırda tekstilden ayakkabıya, yataktan ev tekstiline lisanslı üretim yapmaktadır. Türkiye'de de Greyder markası ile ayakkabı üreten bir firma, Outlast lisansı ile ayakkabılarında Outlast'ın FDM içeren mikrokapsüllerini kullanmaktadır.

FDM'lerin mikrokapsüller içerisine hapsedilerek tekstil yüzeylerine uygulanması ile tekstil yüzeyleri, FDM'nin faz geçiş sıcaklık aralığında, bir ısı depolamaktadır. Dış ortamdaki değişimler de vücudun ısınmasını veya soğumasını geciktirmektedir. FDM'ler günümüzde her türlü tekstil materyaline uygulanmaktadır. Genel olarak uygulama alanları: paltolar, ceket ve pantolonlar, kış spor kıyafetleri, vb. dış giysiler ve battaniye, pike, yastık kılıfı, çarşaf, nevresim, yatak kılıfları vb. ev tekstilleridir [10].

Tekstil malzemelerine mikrokapsüller ile yeni özellikler katan Unifi Manufacturing firmasında, Dacron markası altında çeşitli lifler üretmektedir. Bu lifler ülkemizdeki pek çok yatak ve ev tekstili firmasında yüksek rağbet görmektedir. Firmanın "Climarelle" markası ile ürettiği lifler, bugün ülkemizde de birkaç yatak firması tarafından kullanılmaya başlanmıştır. "Climarelle" lifler, FDM içeren mikrokapsül katılmış liflerdir.



Şekil 2.7 : FDM'li mikrokapsüller (a) kumaş üzerine kaplanmış (b) lif içerisine hapsedilmiş.

Şekil 2.7'de faz değiştiren malzeme içeren mikrokapsüllerin, kumaş üzerine bir bağlayıcı ile kaplanması ve lif içerisine katılması durumları resmedilmiştir.

Söz konusu mikrokapsüller, soğuğa karşı korumaları yanında, aşırı ısınmaya karşı da kullanılabildiklerinden, ısı dengeleyici olarak adlandırılmaktadırlar. Mikrokapsüller

genel olarak, 1 μm den daha ince duvar kalınlığına sahip, 20–40 μm çapında , %80-85 iç malzeme içeren, küresel yapılardır. Kapsül apı ne kadar küçölürse, kapsül yüzey alanı o derece büyüyeceğı için, ısıl iletkenlik de o ölçüde artmaktadır. Bu sayede oluşan yapının, dış havadaki değışimlere tepkisi de hızlı olmaktadır [1,11].

3. FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELER İLE MİKROKAPSÜL ÜRETİMİ

3.1 Mikrokapsüller

Mikrokapsül ifadesi, bir öz malzemenin koruyucu bir kabuk içerisine hapsedilmesi ile elde edilen, çapları mikron mertebesinde olan, yapılara verilen genel bir isimdir. Bir öz malzemenin, bir kabuk içerisine kapsüllenmesinin genel amacı, öz malzemenin dış etkenlerden korunmasıdır. Kapsüllenmenin başlıca amaçlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- a) Öz malzemenin akışkan olduğu durumlarda, ana malzemeyi terk etmesini engellemek.
- b) Öz malzemenin uçucu olduğu durumlarda, buharlaşmasını engellemek.
- c) Öz malzemenin kokusunu uzun süre muhafaza etmek.
- d) Öz malzeme, hava ile temasta bozuluyorsa veya oksitleniyorsa, oksidasyonu önlemek.
- e) Öz malzemenin, çevresindeki yapıya istenilen zamandan önce karışmasını engellemek.

3.1.1 Mikrokapsülleme teknikleri

Mikrokapsül üretimi, üretim tekniği açısından iki grupta ele alınmaktadır.

3.1.1.1 Fiziksel yöntemler:

Fiziksel yöntemler, genel olarak, eriyik halindeki duvar malzemesi içerisine öz malzemenin spreylenecek (mikro tanecikler) kurutulması esasına dayanır. Üretim tekniği olarak, birçok alt dala ayrılır. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır:

- a) Tava Kaplama: Özellikle ilaç sanayinde kullanılan bu teknikte, kaplanacak öz malzeme bir düz yüz üzerinde sallanırken, yavaş yavaş kabuk malzeme eklenir. Öz malzeme, kabuk malzeme içerisinde yuvarlanarak, etrafına kabuk malzemeyi toplar. Kurutma işlemi ile kapsüller elde edilmiş olur.
- b) Hava Süspansiyon Kaplama: Bu yöntemde eriyik halindeki öz malzeme, kabuk malzemeyi parçacıklar halinde taşıyan hızlı bir hava akımı içerisine

mikro gözeneklerden püskürtülür. Hava akımı öz malzeme ve etrafına tutunan kabuk malzemeyi yükseltir, bir noktadan sonra, alttaki toplama kabına düşecek şekilde bırakır. Toplama kabından tekrar hava akımı ile yükselen kapsüller kuruyup sertleşene kadar, defalarca döner.

- c) Eğirme Diski: Eş merkezli iki düse, içte öz malzeme, dışta kabuk malzemesi olacak şekilde döndürülür. Merkezkaç kuvvet etkisi ile düselerden çıkan öz malzeme ve kabuk malzemesi, bir kapsül oluşturur. Uçuş esnasında kabuk kurur ve kapsül elde edilmiş olur.
- d) Sprey Kurutma: Öncelikle, öz malzeme bir polimer çözeltisi içerisinde süspansiyon haline getirilir. Daha sonra bu karışım sıcak hava içerisine spreylenecek, oluşturulan mikrokapsüller kurutulur.
- e) Ultrasonik Sprey Kurutma: Öz malzeme ve kabuk malzeme, ultrasonik düselerden atomize edilerek karıştırılmakta ve kurutulmaktadır. Burada ultrason frekansı ile parça büyüklüğü ayarlanabilmekte ve 20 µm seviyesine kadar inilebilmektedir [12].

Fiziksel yöntemlerin çoğunda, kapsül üretiminde tanecik iriliği fazla kontrol edilememekte ve 100 µm den küçük kapsül elde edilememektedir. Yeni geliştirilen bazı metotlarda, bu dezavantaj da ortadan kalkmaktadır. Ayrıca fiziksel yöntemlerin sanayi üretimi için uygun oluşu, ekonomik ve büyük miktarlarda üretime elverişli olmaları gibi avantajları vardır.

3.1.1.2 Kimyasal yöntemler

Basit koaservasyon, kompleks koaservasyon ve ara yüz polimerizasyonu olarak alt gruplara ayrılan kimyasal yöntemlerle nano ölçeklerde dahi kapsülleme yapmak mümkündür.

- a) Koaservasyon yönteminde, öz malzeme bir polimer çözeltisi içerisinde dispersiyon haline getirilmektedir. Bu dispersiyona eklenen bir yüzey aktif madde ile su içerisinde yağ dispersiyonu haline getirilir. Uygun PH değeri ve sıcaklık sağlanarak, polimerleşmeyi sağlayacak bir malzeme eklenir. Öz malzeme etrafında oluşan polimer ile mikrokapsül elde edilmiş olur.
- b) Ara Yüz Polimerizasyonu: Bu yöntemle ince ve daha dayanıklı kapsüller elde edilebilir. Bu yöntemde, iki monomer öz malzeme etrafında reaksiyona girerek polimerden bir duvar oluşturur. İlk olarak, birinci monomer ve öz malzeme su

içerisinde bir dispersiyon oluşturur, uygun pH ve sıcaklıkta eklenen ikinci monomer, öz malzeme etrafında bulunan ilk monomerle, tepkimeye girerek bir polimer oluşturur. Literatür incelendiğinde; bu tekniğin tekstil uygulamalarında, genel olarak duvar malzemesi üre – formaldehit veya melamin - formaldehit seçilmektedir.

3.1.2 Mikrokapsüllerin kullanım alanları

Mikrokapsüller çeşitli sektörlerde kullanım alanı bulmuşlardır. Mikrokapsüllemenin ilk uygulamalarından olan karbon kopya kâğıtlarında, mürekkep kırılğan kabuklar içerisine kapsüllenenek, bir taşıyıcı kâğıt üzerine uygulanmıştır. Yazma esnasında, kalem ucunun uyguladığı basınca maruz kalan noktalardaki, kapsüller kırılarak serbest kalmakta ve alttaki kâğıdı boyamaktadır.

Mikrokapsülleme, ilaç ve gıda sektörlerinde sıkça başvurulanan bir metottur. Oksidasyon ile bozunma hızı yüksek olan vitaminler, proteinler kapsüllenenek hava ile temasları kesilmekte, bu sayede uzun süre bozunmadan rafta bekleyebilmektedirler [13]. Serbest bırakıldıklarında uçucu olan bazı aromalar, gıda maddeleri içerisine kapsüllenenek konmaktadır.

Kalıcı koku elde etmeye yönelik bazı uygulamalarda ise, hoş koku veren öz malzeme, difüzyon ile kontrollü olarak serbest kalabileceği, bir duvar malzemesi ile kapsülленir. Uzun sürede, azar azar serbest kalan öz malzeme, uzun süreli kalıcı bir koku sağlar [14].

Parfümeri sektöründe bir reklâm tekniği olarak kullanılan ve ovaladıkça koku veren kâğıtlar da, bir mikrokapsülleme örneğidir.

Yiyecek ve ilaç sektöründe uygulamaları eskilere dayanan mikrokapsülleme yönteminin, tekstil sektöründeki uygulamaları yenidir. Gelişmiş ülkelerde, tekstil sektörü ayakta kalabilmek için, nitelikli tekstil üretimine geçmek zorunda kalmıştır. Medikal tekstiller, teknik tekstillerden sonra, günlük hayatımızda kullanılan tekstil materyallerine farklı nitelikler kazandırılarak, katma değeri yüksek ürünler ortaya çıkarılmıştır. Burada kullanılan ana metotlardan biri de, mikrokapsüllemedir. Kumaşa uygulanmak istenen özellikler, örneğin: kalıcı koku, anti bakteriyel özellikler, cilde yumuşaklık kazandıran kremler, sıcaklık ile renk değıştiren boyalar, ilaçlar, hormonlar vs. uygun bir yöntemle kapsüllenenek, kumaş üzerine uygulanmaktadır [5].

3.2 Faz Değiştiren Malzemeler (FDM)

Maddenin katı, sıvı ve gaz fazları olarak üç temel hali vardır. Madde belirli bir basınç ve sıcaklıkta, faz değiştirir. Faz değişimi katıdan-katıya, katıdan-sıvıya, katıdan-gaza ve sıvıdan-gaza olabilir. Günlük hayatta faz değişimlerine sürekli şahit olunan su, 0 °C'nin altında katı fazdadır. 0 °C 'de erir ve 0–100 °C arası (deniz seviyesinde = 1 atm. basınçta) sıvı fazdadır. Su 100 °C de kaynar ve gaz fazı olan buhar fazına geğer.

Bir maddeyi, belirli bir fazda 1 °C ısıtmak için gerekli olan enerjiye, o maddenin öz ısısı denir, “c” ile gösterilir. Suyun öz ısısı; 1 atm. basınçta, 0–100 °C arasında, 4,18 Jg⁻¹°C⁻¹ = 1 cal g⁻¹°C⁻¹’dır. Maddenin, bir fazdan diğerine geğerken aldığı ısı miktarına (saf malzemelerde teorik olarak faz değişimi esnasında sıcaklık değişmez) ise, faz değişim ısısı denir ve “L” ile gösterilir. Tüm maddeler faz değiştirir ve farklı faz değişim ısıları vardır.

Maddelerin sıvıdan gaza geğme esnasında emdiği enerji daha fazladır. Fakat gaz faza geğişteki aşırı hacim artışı, yüksek basınca sebep olmaktadır. Bu sebeple FDM olarak kullanılacak malzemelerin, katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geğişte alıp verdiği (depoladığı/saldığı) ısı miktarı ile çalışılmaktadır.

İnsan bedeni etrafındaki ısı yönetimi, genel hatları ile 15 – 30 °C arasındadır. Daha düşük ya da yüksek sıcaklıklarda, insan uzun süre kalamaz. Bu sıcaklık aralığında ısı depolama kapasitesi yüksek malzemeler, tekstil uygulamaları için uygundur. Ayrıca tekstilde kullanılacak malzemelerin, insana zararsız (zehirsiz, alerji yapmaz, kokusuz, yanıcı olmayan vb.) olması şarttır.

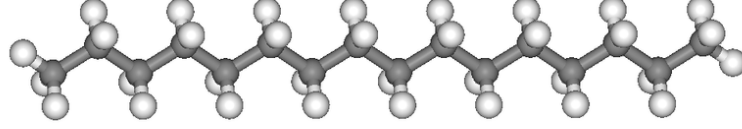
Bugüne değin yapılan çalışmalar incelendiğinde, FDM olarak kullanılan malzemeler; düz zincirli hidrokarbonlar, hidrat tuzları, polietilen glikol çeşitleri, yağ asitleri olarak gruplanabilir.

Yapılmış olan çalışmalardan elde edilen tecrübelerin ışığında, bu çalışmada FDM olarak, düz zincirli hidrokarbonların kullanılması tercih edilmiştir.

3.2.1 Düz zincirli hidrokarbonlar

Genel formülü C_nH_{2n+2} olan, alkan grubunun düz zincirli yapılarıdır. Şekil 3.1’de düz zincirli hidrokarbonlardan n-hekzadekanın şematik gösterimi vardır. Karbon sayısı arttıkça erime ve kaynama sıcaklıkları da artmaktadır. Tekstil uygulamaları için en

uygun hidrokarbonlar: hekzadekan $C_{16}H_{34}$ (erime sıcaklığı $17^{\circ}C$), heptadekan $C_{17}H_{36}$ (erime sıcaklığı $21^{\circ}C$) ve oktadekan $C_{18}H_{38}$ (erime sıcaklığı $28^{\circ}C$) hidrokarbonlarıdır.



Şekil 3.1 : Düz zincirli hidrokarbonların şematik gösterimi. Hexadecane : $C_{16}H_{34}$

Çizelge 3.1’den anlaşılabacağı üzere, kullanım amacına göre çeşitli sıcaklıklarda faz değiştiren farklı hidrokarbonlar da kullanılabilir[28]. Hidrokarbonların ortak özelliği, yüksek faz geçiş ısısına sahip olmalarıdır.

Çizelge 3.1 : Hidrokarbonların özellikleri.

Hidrokarbonlar	Formülü	Mol ağırlığı (g mol ⁻¹)	Erime sıcaklığı	Kaynama sıcaklığı	Yoğunluk (g mL ⁻¹)
Metan	CH ₄	16	-183	-162	Gaz
Etan	C ₂ H ₆	30	-172	-89	Gaz
Propan	C ₃ H ₈	44	-188	-42	Gaz
Bütan	C ₄ H ₁₀	58	-135	-0.5	Gaz
Pentan	C ₅ H ₁₂	72	-130	36	0,630
Hekzan	C ₆ H ₁₄	86	-95	69	0,660
Heptan	C ₇ H ₁₆	100	-91	98	0,680
Oktan	C ₈ H ₁₈	114	-57	126	0,700
Nonan	C ₉ H ₂₀	128,26	-53	151	0,718
Dekan	C ₁₀ H ₂₂	142,29	-30	174	0,730
Undekan	C ₁₁ H ₂₄	156,31	-26	196	0,740
Dodekan	C ₁₂ H ₂₆	170,34	-9,6	216,2	0,750
Tridekan	C ₁₃ H ₂₈	184,37	-5	234	0,758
Tetradekan	C ₁₄ H ₃₀	198,39	5,5	253	0,763
Pentadekan	C ₁₅ H ₃₂	212,42	9,9	268–270	0,769
Hekzadekan	C ₁₆ H ₃₄	226,45	18	287	0,773
Heptadekan	C ₁₇ H ₃₆	240,47	21	302	0,777
Oktadekan	C ₁₈ H ₃₈	254,50	28–30	317	0,781
Nonadekan	C ₁₉ H ₄₀	268,53	32–34	330	0,785
Eikosan	C ₂₀ H ₄₂	282,55	36,7	342,7	0,788
Heneikosan	C ₂₁ H ₄₄	296,58	40,5	356,5	0,792
Dokosan	C ₂₂ H ₄₆	310,61	42	368	0,795
Trikosan	C ₂₃ H ₄₈	324,63	48–50	380	0,797

Çizelge 3.1 Hidrokarbonların özellikleri (devamı).

Hidrokarbonlar	Formülü	Mol ağırlığı (g mol ⁻¹)	Erime sıcaklığı	Kaynama sıcaklığı	Yoğunluk (g mL ⁻¹)
Tetrakosan	C ₂₄ H ₅₀	338,66	52	391,3	0,800
Pentakosan	C ₂₅ H ₅₂	352,69	54	401,9	0,801
Hekzakosan	C ₂₆ H ₅₄	366,71	56,4	412,2	0,803
Heptakosan	C ₂₇ H ₅₆	380,74	59,5	442	0,805
Octakosan	C ₂₈ H ₅₈	394,77	64,5	431,6	0,807
Nonakosan	C ₂₉ H ₆₀	408,80	63,7	440,8	0,808
Triakontan	C ₃₀ H ₆₂	422,82	65,8	449,7	0,810

Faz değiştiren malzeme olarak düz zincirli hidrokarbon kullanımının avantajları:

- İstenilen sıcaklık aralığında faz değiştirme
- Kolay faz değiştirebilme
- Kimyasal olarak kararlı olma
- Yüksek ısı depolama kapasitesine (faz değişim ısısı) sahip
- Kapsüllenebilme özelliği var
- Geri dönüşümü mümkün
- Zehirsiz, kötü kokusu yok

3.2.2 FDM içeren mikrokapsüllerin tekstil yüzeylerine uygulanması

Son yıllarda, faz değiştiren malzemelerin tekstil malzemelerine uygulanabilirliği, fazlasıyla ilgi çeken bir konudur [1,2,11,20,21,22].

Lif içerisine FDM katma uygulamasının ilk denemeleri, Outlast firmasından elde edilen mikrokapsüller ile İngiltere Bradford'taki Courtaulds Fibres firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Lif içerisine, lif çekimi esnasında %5–10 oranında mikrokapsül katılmaktadır. Lif içerisine hapsolan FDM'ler, daha sonraki tüm tekstil üretim metotlarında (iplik eğirme, örme, dokuma, boyama vs.), normal bir lif ile aynı koşullarda kullanılabilir [21].

Deveci ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yürütülen araştırmada, tamamen doğal malzemeler kullanılarak bir mikrokapsül çalışması yapılmıştır. Çalışmada karmaşık koaservasyon metodu ile ipek fibrinleri ve kitosan kapsül malzemesi olarak kullanılarak, n-eikosan kapsüllenmiştir. Çalışmanın başarısı, FDM'lerin tamamen doğal malzemeler ile mikrokapsüllenmesidir [22].

Chih Chang ve ekibinin, 2008 yılında yaptığı çalışmada, FDM olarak n-oktadekan ara yüz polimerizasyonu metodu ile mikrokapsüllenmiştir. Kabuk malzemesi olarak metil metakrilat silikon ağları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen kapsüllerde, n-oktadekan %73,3 gibi yüksek bir oran ile kapsüllenebilmiş ve kapsüllerin ısı depolama kabiliyeti 151 Jg^{-1} olarak ölçülmüştür [24].

Cardoso ve arkadaşları tarafından, 2009 yılında yürütülen bir çalışmada ise itfaiye ekipleri için FDM'li mikrokapsüller içeren kıyafetler tasarlanmıştır. Bu çalışmada amaç, yangından korunmak için kalın ve yüksek yalıtımlı ağır kıyafetler giyen itfaiyecilerin, faaliyetleri esnasında terlememesidir. FDM içeren kapsüller, çalışma esnasında itfaiyecinin fazla ısını depolayacak ve itfaiyeciye iyi hissettirecektir. Fakat FDM olarak kullanılan hidrokarbonların, genelde yanıcı olduğu düşünülerek, yanıcı olmayan ve sağlam bir duvar malzemesi tasarlamak üzere çalışılmaktadır [14].

Önder ve arkadaşları, 2007 yılında yürüttükleri çalışmada, kompleks koaservasyon metodu ile n-hekzadekan, n-oktadekan ve n-nonadekan içeren mikrokapsüller üretmişlerdir. Üretilen n-hekzadekan içeren mikrokapsüller ile $144,7 \text{ Jg}^{-1}$, n-oktadekan içeren mikrokapsüller ile $165,8 \text{ Jg}^{-1}$, n-nonadekan içeren mikrokapsüller ile de $57,5 \text{ Jg}^{-1}$, faz değişim entalpisi elde edilmiştir. Mikrokapsüllerde duvar malzemesi olarak, biyolojik geri dönüşümlü ve doğal malzemeler olan arap sakızı ve jelâtin seçilmiştir. Farklı oranlarda öz malzeme katılarak (emülsiyon içerisine katılan öz malzeme miktarı ağırlıkça %40 - %60 - %80), kapsülleme başarısı karşılaştırmalı olarak kalorimetre, DSC analizi ve FTIR analizi ile incelenmiştir. Elde edilen kapsüller, mekanik testlere tabi tutulmuş, hazırlanan sekiz numuneden beşinde herhangi bir öz malzeme sızıntısı olmamıştır. Hazırlanan mikrokapsüller, bir pamuk kumaş üzerine, laboratuvar tipi baskı makinesi ile %9,5 ile %22,5 arasındaki oranlarda uygulanmış ve elde edilen kumaşlar ısı özellikleri bakımından incelenmiştir. İşlem görmemiş kumaş ile yapılan karşılaştırmalı ölçümlerde; ısı depolama kapasitesinin, %9,5 oranında n-hekzadekanlı mikrokapsül içeren numunede 2,5 kat arttığı, %22,5 mikrokapsül içeren kumaşta ise 4,5 kat arttığı ölçülmüştür [2].

2004 yılında, Shin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, melamin-formaldehit kabuk malzemesi içerisine, FDM olarak eikosan kapsüllenmiştir. Eikosan kapsülleri, fular ve kurutma düzeneği ile kumaş üzerine uygulanmıştır. Kumaş üzerinde tutunabilen

mikrokapsül miktarına göre, kumaşın ısı depolama kapasitesi $0,91 \text{ Jg}^{-1}$ den, $4,4 \text{ Jg}^{-1}$ a çıkarılmıştır. (%23 mikrokapsül ilave edilen kumaşa $4,4 \text{ Jg}^{-1}$) [25].

Sarier ve Önder, 2007 yılında yayımladıkları makalelerinde, arayüz polimerizasyonu ile gerçekleştirdikleri mikrokapsülleme üzerine olan çalışmaları hakkında bilgi vermektedirler[1]. Bu çalışmada, ara yüz polimerizasyonu tekniği kullanılarak kabuk malzeme üre-formaldehit polimeri içerisine FDM kapsüllenmesi yapılmıştır. Yapılan dört farklı üretimde; FDM olarak saf oktadekan, oktadekan ve PEG600 karışımı, eikosan ve hegzadekan karışımı, PEG1000, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve hegzadekan karışımları kullanılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen mikrokapsüller SEM analizi, tane büyüklüğü dağılımı ve DSC analizine tabi tutulmuştur. DSC sonuçları incelendiğinde karışım öz malzeme içeren çalışmalarda, sadece tek faz geçiş sıcaklığı gözlemlenebilmiştir. Buradan yapılan çıkarımda, büyük olan moleküllerin kapsüllenemediği, yerine küçük moleküllerin kapsül içerisinde yer aldığı, anlaşılmıştır. Oktadekan ve PEG600 karışımı içeren mikrokapsüller, oktadekana benzer bir davranış göstermişlerdir. Aynı şekilde; eikosan ve hegzadekan içeren mikrokapsüller, hegzadekana benzer bir davranış göstermişlerdir. Bu çalışma sonucunda, karışımların kapsüllenmesi yerine, kapsüllenmiş FDM'lerin karıştırılması fikri doğmuştur. Ayrıca, bu çalışma sonunda bir modelleme yapılmıştır. Yapılan modellemede; metabolizma hızı 115 Wm^{-2} olan bir insanın, 150 gm^{-2} mikrokapsül ($51,7 \text{ Jg}^{-1}$ faz değişim ısısı olan n-hegzadekan içeren mikrokapsüllerden) içeren ve belirli bir ısı direnci olan kıyafetlerle, değişik dış sıcaklıklarda ne kadar zaman konforlu olarak kalabileceği hesaplanmıştır.

3.2.3 FDM'lerin diğer kullanım alanları

Kullanılan enerjinin en büyük kısmının ısıtma ve soğutma sistemlerinde harcandığı düşünüldüğünde, elde edilen ısıнын korunması en kilit çözümlerden birisidir. Faz değiştiren malzemeler ısı yönetimi araştırmalarında kullanılan en etkin araçlardan biri olmuştur. Gerek inşaat sektörüne, gerekse ısıtma havalandırma sistemlerine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.[15–19].

Modern mimaride, binaların cephe kaplamalarında gitgide daha çok cam tercih edilmekte, bu da yaz aylarında daha çok güneş ışığı ve daha çok ısınmaya sebep olmaktadır. Klima kullanımının yaygınlaşması, özellikle sıcak yaz günlerinde elektrik enerjisinde aşırı talebe neden olmaktadır. Avrupa'da tüketilen elektrik

enerjisinin %15 ini klimalar tüketmektedir [17]. Ülkemiz dâhil birçok ülkede, yoğun talebin olduğu gündüz saatlerinde, elektrik geceye oranla daha pahalıdır. Buradan hareketle, düşük gece ısını depolayarak, gündüz serinlemede yardımcı olarak kullanımı ve gece ucuz elektrik tarifesinde şarj edilen ısı depolarının, gündüz kullanımı fikirleri ortaya çıkmıştır [15]. Almanya Münih Fraunhofer-Institute’te, mikrokapsüllenmiş FDM’ler, inşaat malzemeleri içine katılarak duvarlarda uygulanmış, uygulama yapılan ofiste, FDM’lerin içteki ısı konforu arttırdığı, yazın aşırı ısınmayı azalttığı saptanmıştır [18].

Faz değiştiren malzemelerin binalarda uygulanması ile bir evin ısıtma ve soğutmaya ödediği yıllık enerji giderini %10-%15 düşürebildiği gözlenmiştir. İstenilen oda sıcaklığının 1–3 °C üzerinde faz değişim sıcaklığı olan bir malzeme kapsüllenerek, panellerle duvarlara uygulanması esasına dayanan sistemde; gündüzleri ortaya çıkan fazla ısı emilip depolanmakta ve oda sıcaklığının düşmeye başladığı sürede geri salınarak soğumayı geciktirmektedir [26].

Yamaha ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada havalandırma sistemindeki ısı değiştiriciye, 200 kg FDM ilave ederek, 74 m²’lik bir ofisin en çok enerji çektiği 3 saati hiç elektrik kullanmadan geçirebilmişlerdir. Böyle bir sistem için, faz geçişi 17 °C ile 21 °C arasında olan FDM’lerin, en uygun olduğuna karar verilmiştir [19].

Sarıer ve Önder, poliüretan köpüklere emdirilmiş PEG’lerden yararlanarak, dinamik ısı dengeleyici bir yalıtım malzemesi elde etmişlerdir [3]. 2 cm kalınlığındaki poliüretan köpük levhalar üzerine, bağlayıcı olarak 0,1 M’lık gliserin aldehit kullanılarak PEG600, PEG1000 ve PEG1500 uygulanmıştır. Elde edilen numunelerin, DSC analizi ile ısı depolama kapasiteleri incelenmiştir. Çalışma ile elde edilen numunelerde, eşit miktarda PEG ilave edilmiş numunelerde PEG600 ilave edilen 62,3 Jg⁻¹, PEG1000 ilave edilen numunede 76,7 Jg⁻¹ ve PEG1500 ilave edilen numunede 138,1 Jg⁻¹, ısı depolama kapasitesi elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin karşılaştırmalı ısı özellikleri, oluşturulan bir test düzeneği ile incelenmiştir. Etrafı üretilen PEG ilaveli poliüretan levha kaplı beton kap içerisine konan suyun, eşit miktarda ısı verilmesi sonucu ulaştığı nihai sıcaklık ölçülmüştür. Buradan hareketle, FDM içeren PU levhaların ısı yalıtıma katkıları gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, FDM’lerin inşaat sektöründe de kullanılabileceğini ve binaların ısı yönetimine katkı sağlayabilecekleri gösterilmiştir [3].

Araştırmacılar bir diğer çalışmalarında ise, poliüretan köpüklerin polimerizasyonu esnasında FDM’ler katarak, oluşan poliüretan köpüklerin içerisine FDM

hapsetmişlerdir [4]. FDM olarak hekzadekan, oktadekan, PEG600 ve $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır. Farklı karışım oranlarında yedi numune hazırlanmış ve numuneler DSC analizi- elektron mikroskobu ve FTIR analizi ile incelenmiştir. DSC analizinde, numuneler ve bir FDM içermeyen bir kontrol numunesi, 0 dan 70 °C ye 10 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmış ve ısı depolama kapasiteleri incelenmiştir. FDM içermeyen referans poliüretan numunesinin, 5 °C ile 55 °C arası ısı depolama kapasitesi sadece 0,32 Jg⁻¹ °C iken; 1 / 1,4 oranında (ağırlıkça FDM / poliüretan karışım oranı) oktadekan içeren numunede, 27,8 °C ile 36 °C arasında 77,8 Jg⁻¹ ısı depolaması gözlenmiştir. Oktadekan içeren numunede, mekanik testlerde herhangi bir sızıntı veya bozulma gözlenmemiştir. Laboratuvar ortamında üretilen FDM’li poliüretan köpüklerin, sanayide de üretimini mümkün olduğu gösterilmiştir.

Bir İsveç firması, “Comfort Cooler” (konforlu serinletici) adını verdiği, FDM ve bir fan içeren ürünü üretmektedir. Cihaz içerisinde gece soğuk havada katılan FDM, gün içerisinde sıcaklık ofis içerisinde istenenden fazla yükseldiğinde eriyerek, içinden geçen havayı soğutmaktadır [15].

FDM’ler ile enerji depolaması konusu, güneş enerjisi sistemlerinde ısı depolama problemini çözebilmek amacı ile de araştırılmaktadır. Bu çalışmalarda faz geçiş sıcaklığı daha yüksek olan FDM’ler kullanılmaktadır. Oktakosan 50–53 °C arasında faz geçiş sıcaklığına sahiptir. Güneş enerjisi sistemleri ile sıcak kullanım suyu hazırlanmasında, ideal bir faz geçiş sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Oktakosan, metil metakrilat kabuk malzeme içerisine kapsüllenerek, güneş enerjisi sistemine dâhil edilmiştir. Elde edilen kapsüllerin elektron mikroskobu incelemelerinde, ortalama kapsül çapının 0,25 µm olduğu gözlenmiştir. 28 karbonlu Oktakosanın, metil metakrilat polimeri içerisine kapsüllemesi ile elde edilen mikrokapsüllerde, ısıtma esnasında 50,6 °C de başlayan faz değişiminde 86,4 Jg⁻¹ ısı depolama ve soğutma esnasında 53,2 °C de başlayan faz değişiminde 88,5 Jg⁻¹’lık bir ısı salınımı ölçülmüştür [23].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Amaç

Bu çalışmanın ana hedefi, tekstil yüzeylerine uygulanabilir ve uygulandığı kumaşa bir ısı depolama özelliği katacak mikrokapsüller üretmektir. Genel olarak üretilecek mikrokapsüller şu özellikleri taşımalıdır:

- Yüksek ısı depolama ve salıverme özelliğine sahip olmalıdır(en az 50 Jg^{-1}).
- Yeterli ısı iletkenliğe sahip olmalıdır.
- Ortalama tane iriliği $10\text{--}100 \mu\text{m}$ olmalıdır ve ürünün %90'ının tane iriliği $300 \mu\text{m}$ 'den küçük olmalıdır.
- Mekanik dayanıma sahip ve sızdırmazlık özelliği olmalıdır.
- Tekrarlanabilir faz dönüşümlerine elverişli ve kimyasal kararlılığı olmalıdır.
- Tekstil yüzeylerine uygulanabilir olmalıdır.
- Tekstil yüzeyine işlev kazandırabilmelidir.

Bu çalışmada, üç farklı FDM içeren mikrokapsüller üretilerek, ısı depolama özellikleri ve tekstil yüzeylerine uygulanabilirliği incelenmiştir. Üretilen mikrokapsüllerin ısı depolama kapasiteleri ölçülerek, farklı öz malzemeler ile ısı depolamanın değişimi gözlenmiştir. Tekstil yüzeylerine uygulanabilmesi için gerekli bağlayıcı kimyasallarla uyumu araştırılmış, farklı karışım oranlarındaki ısı özellikler tayin edilmiştir. Mikrokapsül uygulanmış kumaşın ısı özellikleri incelenerek, serbest mikrokapsüllerin ısı özellikleri ile karşılaştırılmıştır.

4.2 Faz Değiştiren Malzeme İçeren Mikrokapsül Üretimi

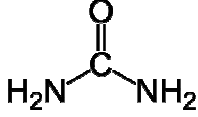
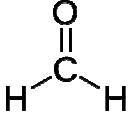
Geçmiş çalışmalar incelenerek bu çalışmada FDM olarak düz zincirli hidrokarbonlardan n-hekzadekan, n-heptadekan ve n-oktadekan seçilmiştir. Çizelge 4.1 de öz malzeme olarak kullanılacak hidrokarbonların erime sıcaklıkları ve erime ısıları verilmiştir. Her üç malzemedede yüksek faz geçiş ısılarına sahiptir ve erime ısıları kıyafet tasarımında kullanılabilecek aralıktadır.

Çizelge 4.1 : Deneysel çalışmada FDM olarak kullanılacak hidrokarbonlar

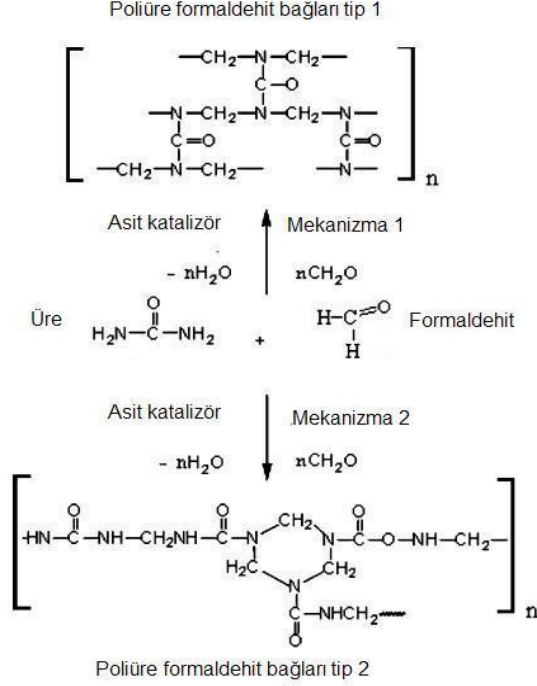
Malzeme adı	Formülü	Erime noktası	Erime ısısı
n-hekzadekan	$C_{16}H_{34}$	17,0 °C	185,34 Jg ⁻¹
n-heptadekan	$C_{17}H_{36}$	21,7 °C	171,38 Jg ⁻¹
n-oktadekan	$C_{18}H_{38}$	29,8 °C	233,78 Jg ⁻¹

Mikrokapsüllerde duvar malzemesi olarak üre-formaldehit polimeri seçilmiştir. Geçmiş çalışmalarda üre-formaldehit polimerinin mekanik dayanımı yüksek ve sızdırmaz kapsüller oluşturabildiği görülmüştür. Suda çözünebilen iki monomer, üre ve formaldehit in özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir[29].

Çizelge 4.2 : Üre ve Formaldehitin özellikleri

	Üre	Formaldehit
Kimyasal formül	CH_4N_2O 	CH_2O 
Mol ağırlığı	60,06 gmo ⁻¹	30,026 gmo ⁻¹
Renk	Beyaz katı	Renksiz
Erime Noktası	132,7–135 °C	–15 °C
Suda çözünürlüğü	1,08 kg L ⁻¹ (20 °C)	Yüksek

Üre ve formaldehit uygun koşullar yaratılarak öz malzeme etrafında Şekil 4.1 mekanizması görülen ara yüz polimerizasyonu ile polimerleşerek kabuk malzemeyi oluşturacaktır [1].



Şekil 4.1.: Poliürea formaldehit polimerleşmesinin şematik gösterimi

Mikrokapsüllemede kullanılan diğer malzemeler:

- %1’lik SDS çözeltisi (polielektrolit, yüzey aktif)
- %5 ‘lik PVA çözeltisi (%99 hidrolize ve düşük moleküler ağırlık)
- NH₄Cl (Katalizör)
- Triton X 100 (C₈H₁₇ C₆H₄(O₆ CH₂CH₂)_nOH) %1’lik çözeltisi

Mikrokapsül üretimi, çeşitli öz malzemeler kullanılarak aşamaları verilen genel reçete ile yapılmıştır.

1. Polielektrolit çözeltisi alınarak cam behere konulur. Sistem oda sıcaklığında (20-25°C) dakikada 600 devir ile manyetik karıştırıcıyla karıştırılır.
2. Üzerine PVA çözeltisi ilave edilir.
3. Yüzey aktif maddeler ilave edilir.
4. Üre katılır ve karıştırmaya devam edilir.
5. Kütlece 1 pre polimer: 1 öz malzeme olacak şekilde öz malzeme (FDM) katılır.
6. Mikro emülsiyon hazırlanarak “su içinde yağ” sistem hazırlanır.
7. Karışım cam reaktöre aktarılıp üzerine formaldehit ilave edilir ve pH yaklaşık 4’e ayarlanır.

8. Karışıma asit katalizör olarak Amonyum Klorür (NH_4Cl) ilave edilir.
9. Manyetik karıştırıcılı, termostatl ısıtıcı üzerinde cam reaktör içinde dakikada 1500 devirde karıştırılır ve sıcaklık tedrici olarak 60 °C ye çıkacak şekilde ara yüz polimerizasyonu gerçekleştirilir. Mikrokapsül oluşumu için 50 dakika karıştırılır.
10. Polimerizasyon sonrası medya soğuk su banyosuna oturtularak ani soğutulur. Oluşan kapsüller tekrarlı olarak yıkanır, filtrelendir ve vakum ile kurutulur. Mikrokapsüller, kaba süzgeç kâğıdı üzerine yayılarak etüvde 30 °C’de kurutulur.
11. Numune içerdği öz malzeme cinsine göre kodlanır.(Örnek: MCC16R1A1; MC: Mikrokapsül, C16: n-hekzadekan, R1: ağırlıkça birebir oranda, A: bu reçete ile yapılmış 1: birinci üretim)

Bu reçete temel alınarak, farklı öz malzemeler ile mikrokapsüllemeler yapılmıştır. Üretilen mikrokapsüller ve kodlamaları Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Üretilen mikrokapsüller ve kodlama

MCC16R1A1	n-hekzadekan içeren mikrokapsül 1. üretim
MCC16R1A2	n-hekzadekan içeren mikrokapsül 2. üretim
MCC16R1A3	n-hekzadekan içeren mikrokapsül 3. üretim
MCC16R1A4	n-hekzadekan içeren mikrokapsül 4. üretim
MCC17R1C1	n-heptadekan içeren mikrokapsül 1. üretim
MCC18R1B1	n-oktadekan içeren mikrokapsül 1. üretim
MCC18R1B2	n-oktadekan içeren mikrokapsül 2. üretim
MCAgC16R1H1	n-hekzadekan ve gümüş içeren mikrokapsül 1. üretim
MCAgC16R1G1	n-hekzadekan ve gümüş içeren mikrokapsül 2. üretim

Mikrokapsüllerde ısı iletkenliği artırılarak, kapsüllerin dış ortamdaki sıcaklık değişimlerine daha hızlı cevap vermesini sağlamak amacı ile üretilen mikrokapsüllere gümüş ilave edilmiştir. Mikrokapsül üretim reçetesinin ikinci adımında çözeltiye, indirgenmiş gümüş nano parçacıkları eklenerek, yeni bir reçete daha oluşturulmuştur. Farklı gümüş indirgeme metotları kullanılan, iki gümüşlü mikrokapsül üretilmiştir.

4.3 Üretilen Mikrokapsüllerin Tekstil Yüzeylerine Uygulanması

4.3.1 Kaplama malzemesi

Üretilen mikrokapsüller, kumaşa kaplama yoluyla katılmıştır. Kaplama malzemesi olarak, poliüretan bazlı bir kaplama malzemesi olan ve Bayer Chemicals firması tarafından üretilen Impranil® DLV/1 kullanılmıştır.

Impranil® DLV/1, anyonik, alifatik, polikarbonat-ester-polieter polyüretan dispersiyonudur. Tedarik formu, beyaz düşük viskoziteli %40 katı malzeme içeren sulu dispersiyondur. Impranil® DLV/1, dış giysiler, çanta, valiz, iş kıyafetleri, teknik tekstiller vb. birçok tekstil uygulamasında, kaplama malzemesi olarak kullanılabilir.

Impranil® DLV/1 özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Hidrolize karşı dayanıklıdır.
- Bağlayıcıdır.
- Mekanik köpüklenmeye uygundur.
- Yüksek ışık haslığına sahiptir.
- Yoğunluğu 23 °C de 1,1 gcm⁻³'tür. (DIN 53217/3) [30]

4.3.2 Kaplama malzemesi içerisine mikrokapsül katılması

Seçilen Impranil DLV/1 isimli, poliüretan bazlı kaplama malzemesi, mikrokapsüller ile karıştırılarak film tabakaları oluşturulmuştur. DLV/1 kontrol olarak adlandırılan referans film tabakada, 6 ml Impranil DLV/1 ile bir film oluşturulmuştur. Daha sonra 4 gr Impranil DLV/1, miktarları ve cinsleri Çizelge 4.4'te yazılı, mikrokapsüller ile karıştırılmıştır. Çizelgenin son sütununda oluşan film tabaka içerisinde yer alan mikrokapsüllerin, film tabakasına kütlece oranları verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Kaplama malzemesi – mikrokapsül karışım çizelgesi

Numune Adı	Mikrokapsül	DLV/1 miktarı (g)	MC miktarı (g)	Teorik MC %
DLV-F6	MCC16R1A4	4,00	1,60	50%
DLV-F6-1	MCC16R1A1	4,00	1,60	50%
DLV-F10	MCAgC16R1H1	4,00	1,60	50%
DLV-F13	MCC18R1B1	4,00	2,40	60%

4.3.3 Mikrokapsüllerin kaplama malzemesi ile tekstil yüzeyine uygulanması

Üretilen mikrokapsüllerin, tekstil yüzeyine uygulanması için, atkı sıklığı 23 telcm⁻¹, çözgü sıklığı 25 telcm⁻¹, gramajı 122 gm⁻² olan, %100 Pamuk, dokuma, bir kumaş seçilmiştir. Seçilen kumaş üzerine uygulanmak üzere, çeşitli oranlarda kaplama malzemesi ve mikrokapsül karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar, kumaş üzerine sıvama metodu ile kaplanmıştır. Kaplanan tüm kumaşlar, kurumaları için laboratuvar ortamında 3 gün bekletilmiştir.

Kaplama malzemesi ile mikrokapsül karışımında, karışım oranını mikrokapsül lehine arttırabilmek amacı ile ilk denemelerde, %40 katı malzeme içeren DLV/1, saf su ile seyreltilmiştir. Saf su ile seyreltilen numunelerde, mikrokapsüllerin kumaşa tutunması zayıfladığı için, daha sonraki uygulamalarda su ilavesinden vazgeçilmiştir.

Çizelge 4.5 : Seçilen numuneler ve kaplama reçeteleri

Numune Adı	Mikrokapsül	DLV1 miktarı (g)	Su miktar(g)	Mikrokapsül miktarı (g)	Mikrokapsül / DLV1 (%)	Kumaş kütle (g)	Son kütle (g)	Kumaşa kaplama (g)	Mikrokapsül / Son kütle (%)
DLV-C7	MCC16R1A4	2,66	1,34	1,60	60%	1,214	3,534	2,320	39,43%
DLV-C9	MCC16R1A4	4,00	0,00	2,40	60%	1,217	4,935	3,718	45,20%
DLV-C10	MCAgC16R1H1	4,00	0,00	1,60	50%	1,218	4,228	3,010	35,60%
DLV-C13	MCC18R1B1	4,00	0,00	2,40	60%	1,231	3,068	1,837	35,93%
DLV-C14	MCC16R1A1	4,00	0,00	1,60	50%	1,225	3,554	2,329	32,77%

Hazırlanan kaplanmış kumaşlardan, Çizelge 4.5'te görülen, en homojen kaplanmış numuneler seçilerek DSC'de ısı özellikleri incelenmiştir.

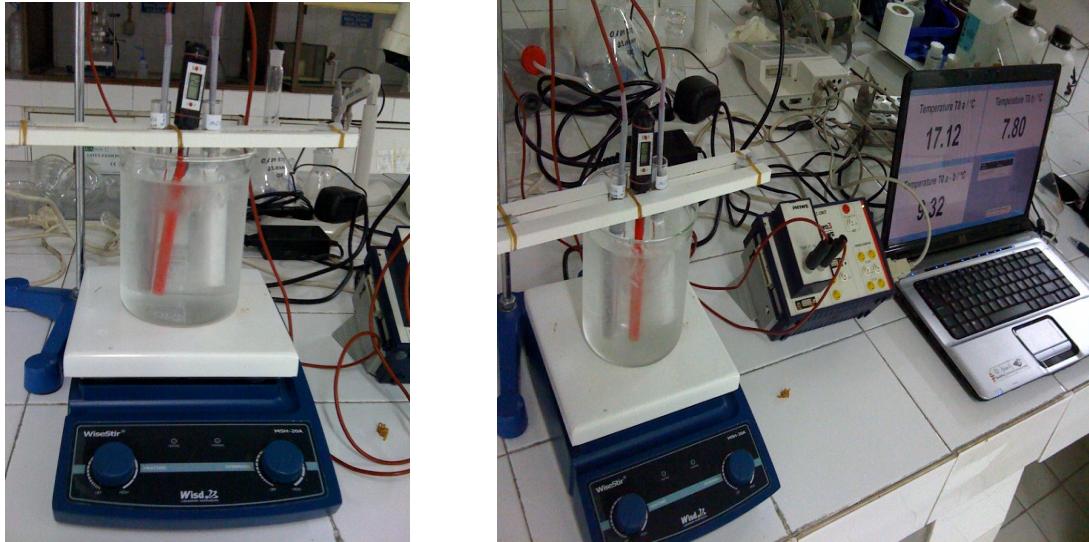
4.4 Üretilen Mikrokapsüllerin ve Kaplanmış Kumaşların Isıl Özellikleri

4.4.1 Sabit ısıtma altında kalorimetre ölçümleri

Üretilen mikrokapsüllerin ve mikrokapsül uygulanmış kumaşların ısı özellikleri, ilk olarak laboratuvarında kurulan kalorimetre ile ölçülmüştür.

Eş zamanlı ölçüm uçları olarak, Phywe firmasının ürettiği Cobra3 isimli test cihazı ve beraberindeki PT100 modülüne bağlanan, iki adet sıcaklık ölçüm çubuğu kullanılmıştır. Isı kaynağı olarak, WiseStir marka MSH-204 model manyetik

karıştırıcı ısıtıcı kullanılmıştır. Şekil 4.2’de görülen, kalorimetre ölçüm düzeneği kurulmuş ve bilgisayara bağlanmıştır. Ölçüm düzeneğinde ısıtıcı üzerine 1000 mL’lik bir beher konularak ve içerisine 800 mL saf su doldurulmuştur. İki adet eş cam tüp, beher içerisindeki saf suya, beher zemininden 1 cm yükseklikte askıda duracak şekilde, eşit miktarda batırılmıştır. Birinci cam tüpe ölçülecek numune konulurken, ikinci cam tüpe numune ile eşit ağırlıkta saf su konulmuştur. Ölçüm uçları, tüp içerisindeki numune ve saf suya batacak şekilde, cam tüpler içerisine eşit miktarda daldırılmıştır. Ölçüm uçları tüp zemininden 0,5 cm mesafede askıda duracak ve cam tüpe değmeyecek şekilde sabitlenmiştir. Bu çalışmada 1 mm kalınlıkta, iç çapı 14 mm, dip kısmı yarımküre şeklinde ve toplam boyu 160 mm olan cam tüpler kullanılmıştır.



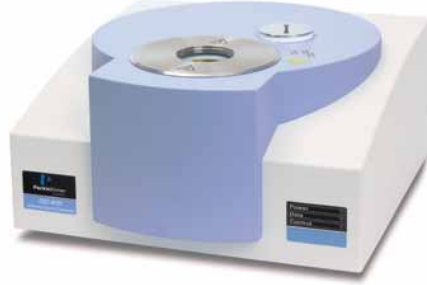
Şekil 4.2.: Kalorimetre ölçüm düzeneği

Üretilen tüm numunelerin ısı davranışları laboratuvarında kurulan kalorimetre ölçüm düzeneği ile ölçülmüştür. Tüm numuneler sabit ısı kaynağında, saf suya karşı, 2°Cdk^{-1} hızla, 10°C ’den 60°C ’ye ısıtılmıştır. Zamana karşı sıcaklık eğrileri elde edilmiştir.

Elde edilen eğrilerin yorumlanabilmesi için öncelikle kurulan düzeneğin ısı özellikleri tanımlanmıştır. Kurulan düzeneğin temel prensibi, sürekli ve sabit ısıveren bir ısı kaynağı ile ısıtılan numune ve saf suyun sıcaklıklarındaki, zamana karşı değişimin karşılaştırmalı olarak gözlenmesidir. Bu nedenle, kalorimetre düzeneği ile yapılan ölçümler saniyede bir, bilgisayara kaydedilmiştir

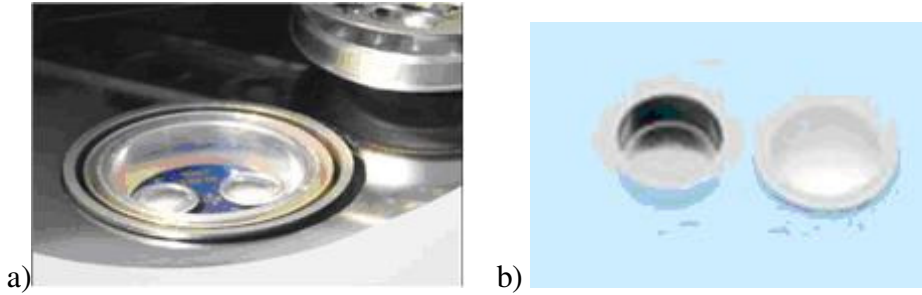
4.4.2 DSC: Diferansiyel taramalı kalorimetre

DSC (Differential Scanning Calorimeter) : Diferansiyel taramalı kalorimetre olarak Şekil 4.3 de görülen Perkin-Elmer DSC 4000 cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.3.: Perkin Elmer DSC 4000 cihazı

Cihaz ölçüm odası, elektrikle kontrollü olarak ısıtılabilen ve harici bir soğutucu ile kontrollü olarak soğutulabilen bir mini fırındır. Ölçüm esnasında, odacık içerisinde su moleküllerinin yoğunlaşmasını ve ölçüm hassasiyetini bozmasını engellemek için, testler azot gazı atmosferinde yapılmaktadır. Bu sebeple cihaz harici bir azot tüpüne bağlıdır.



Şekil 4.4.: a) DSC ölçüm odacığı b) DSC numune kapsülü ve kapağı

Cihaz ölçüm odası zemininde, Şekil 4.4'te görülen iki adet hassas duyarga bulunmaktadır. Ölçümü yapılacak numune öncelikle yine Şekil 4.4'te görülen mini kapsül içerisine konarak kapağı kapatılır. Daha sonra bir numune dolu kapsül ve bir boş kapsül iki duyarga üzerine yerleştirilir. Odacığın kapakları kapatılır. Sistem bundan sonra bilgisayar yazılımı ile kontrol edilir. Numune istenen sıcaklığa istenen hızda ısıtılır ya da soğutulur, istenen sıcaklıkta istenilen süre tutulabilir. Bu sıcaklık değişimlerinde dolu kapsül içerisindeki numunenin ısı davranışları, boş kapsülün sıcaklığı ile karşılaştırılarak bulunur.

Cihazın ana çalışma prensibi: Anlık verilen ısı miktarını arttırıp azaltarak numune sıcaklığını istenilen sabit hızda arttırmak ya da azaltmaktır. Sıcaklık değişimini sabit tutmak için verilen anlık ısılar ölçülerek kaydedilir. Bu ölçüm metodu ile malzemelerin camsı geçiş, kristalleşme, faz değiştirme gibi ısı karakterleri gözlemlenebilir.

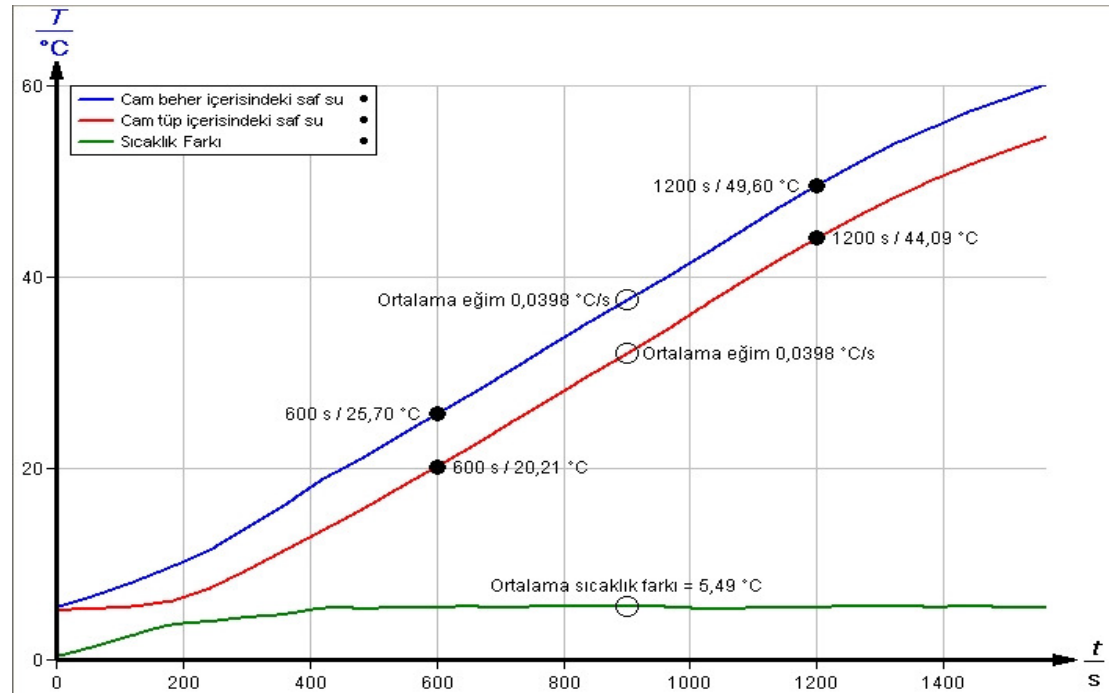
Üretilen film tabakaları ve mikrokapsül kaplanmış kumaşların ısı ölçümlerinde, DSC'den yararlanılmıştır. DSC ölçümlerinde, üretilen film tabakaları ve mikrokapsül kaplanmış kumaşlar, -20 °C'den 60°C'ye, 2 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmıştır. Bu işlem sırasında çekilen ısı miktarları gözlenerek, yapı içerisinde yer alan mikrokapsüllerin faz değişim aralığında ne kadar enerji depoladığı gözlemlenmiştir.

5. BULGULAR

5.1 Kalorimetrede Saf Suyun Isıtılması

Kurulan düzenekte, cam beher içerisindeki 800 mL saf suya eşit miktarda batırılmış cam tüpler kullanılmaktadır. Isı geçişini sağlayan cam tüplerin saf suya batmış kısmının yüzey alanının da sabit olduğu kabul edilerek, bu yüzey alanının toplam ısı iletimi hesaplanmıştır. Cam tüpten geçen ısıнын tüp içerisindeki numunenin kazandığı ısıya eşit olduğu düşünülmüştür.

Düzenekte kullanılan cam tüplerin, toplam termal direncini saptamak üzere, cam tüp içerisine konan 10 g saf su, kalorimetre ile ısıtılarak, zamana karşı sıcaklık davranışı gözlenmiştir.



Şekil 5.1 : Saf suyun kalorimetre ölçümü.

Kurulan düzenekte, cam tüp içerisindeki 10 g saf su ile cam tüp etrafındaki (cam beher içindeki) saf suyun sıcaklıkları ölçülerek, zamana karşı grafiği Şekil 5.1’de verilmiştir. Sistem denge halinden (iç ve dış sıcaklıkların eşit olduğu konum)

ısıtılmaya başlandığında, ilk 400 saniyede sıcaklık farkı yavaş yavaş artmış, bu zamandan sonra sıcaklık farkı sabitlenmiştir. Kazanılan ısı enerjisi (Q), kütle (m), özgül ısı (c) ve sıcaklık farkı (ΔT)’den hareketle tanımlanan Eşitlik (5.1) temelinde, iç ve dış sıcaklıklardaki artış hızının sabit ve eşit olduğu 600 – 1200 saniyeler arası incelenerek, sistemin ısı geçişi Eşitlik (5.2)’deki gibi tanımlanmıştır.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (5.1)$$

$$Q_{i\text{çsu}} = m_{i\text{çsu}} \cdot c_{su} \cdot (T_{1i\text{çsu}} - T_{2i\text{çsu}}) \quad (5.2)$$

$Q_{i\text{çsu}}$: Tüp içerisindeki saf suyun entalpisindeki değişim(J)

$T_{1i\text{çsu}}$: Tüp içerisindeki saf suyun t_1 anındaki sıcaklığı(°C)

$T_{2i\text{çsu}}$: Tüp içerisindeki saf suyun t_2 anındaki sıcaklığı(°C)

$m_{i\text{çsu}}$: Tüp içerisindeki suyun kütlesi (g)

c_{su} : Suyun özgül ısısı (J °C⁻¹g⁻¹)

Buna göre, $t_1= 600$ saniye ile $t_2=1200$ saniye aralığında Eşitlik (5.2) kullanılarak, tüp içerisindeki saf suyun entalpisinin 998,2 J artışı hesaplanmıştır. $\Delta t=600$ saniyede gerçekleşen bu artış ortalama 1,66 Js⁻¹ ısı akışı ile gerçekleşmiştir. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi 600 ile 1200 saniye aralığında, cam tüpün dışı ile içi arasında sıcaklık farkı sabit 5,49 °C kalmıştır.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k_{tüp} \cdot A_{tüp} \cdot x_{tüp}^{-1} \cdot (T_{dissu} - T_{i\text{çsu}}) \quad (5.3)$$

$$K_{tüp} = k_{tüp} \cdot A_{tüp} \cdot x_{tüp}^{-1} \quad (5.4)$$

$$K_{tüp} = \frac{\Delta Q}{\Delta t \cdot (T_{dissu} - T_{i\text{çsu}})} \quad (5.5)$$

$T_{i\text{çsu}}$: Tüp içerisindeki saf suyun sıcaklığı(°C).

T_{dissu} : Tüp dışında beher içerisindeki suyun sıcaklığı (°C).

$k_{tüp}$: Cam tüpün ısı iletim katsayısı (W °C⁻¹m⁻¹).

$A_{tüp}$: Cam tüpün, beherdeki saf su içerisine batırılmış ısı transfer alanı(m²).

$x_{tüp}$: Cam tüpün, beherdeki saf su içerisine batırılmış ısı transfer alanı(m²).

$K_{tüp}$: Ölçümlerde kullanılan 800 mL saf su içerisine batırılmış cam tüpün, iç ve dış sıcaklıklara bağlı ısı iletim sabiti (W °C⁻¹)

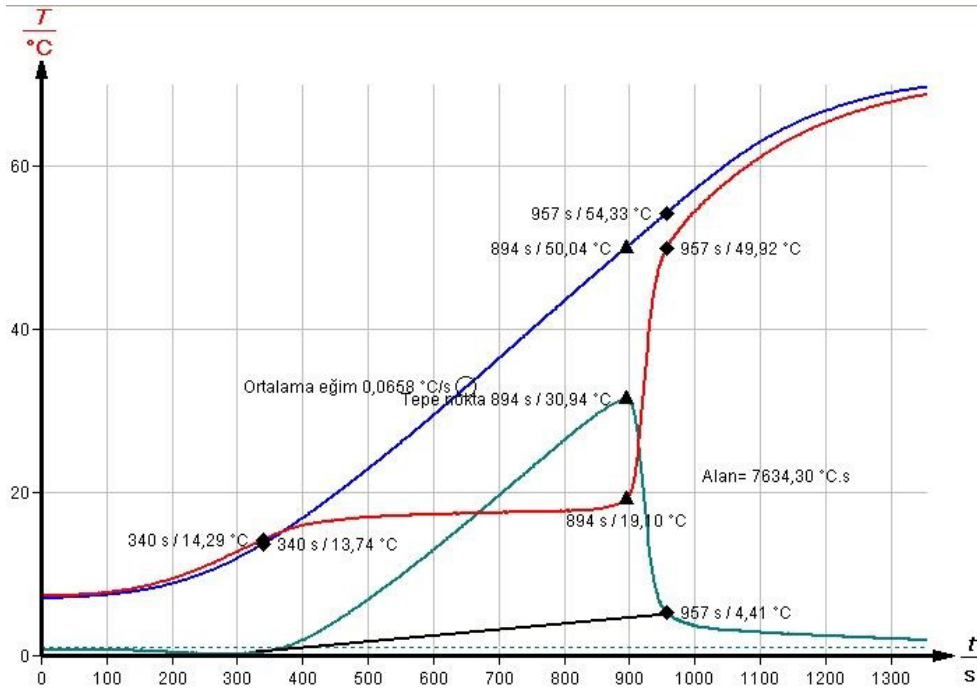
$\Delta Q/\Delta t$: Birim zamandaki ısı akısı (W= Js⁻¹)

Fourier kanunu olarak bilinen, birim zamandaki ısı akısının genel formülü Eşitlik (5.3) ile sisteme uyarlanmış, ebatları ve malzemesi sabit cam tüpler için genel bir ısı iletim sabiti ($K_{tüp}$) Eşitlik (5.4)'te tanımlanmıştır. Eşitlik (5.5)'te görüldüğü gibi cam tüpün genel ısı iletim sabiti, birim zamanda gerçekleşen ısı geçişinin, iç-dış sıcaklık farkına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Yapılan ölçümden cam tüp için ısı iletim sabiti $K_{tüp} = (1,66 \text{ Js}^{-1} / 5,49 \text{ °C}) = 0,303 \text{ W °C}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Cam tüpe ait bulunan ısı iletim sabitinin, tüm ölçümlerde sabit olduğu kabul edilerek iç – dış sıcaklık farklarında tüpten geçen ısı miktarı ile tüp içerisindeki numunenin aldığı ısı hesaplanmıştır.

5.2 Kalorimetre İle Saf n-Hekzadekanın Isıl Davranışının Ölçümü

Kısım 5.1'de hesaplanan, cam tüpün ısı iletim sabitini kontrol etmek amacı ile, çalışmada öz malzeme olarak kullanılan n-hekzadekanın ısıl özellikleri, kalorimetrede incelenmiştir. Birinci tüpe 10 g n-hekzadekan, ikinci tüpe 10 g saf su konmuş ve 10 °C den 70 °C ye ısıtılmıştır.



Şekil 5.2 : Saf n-hekzadekanın kalorimetre ölçümü.

Şekil 5.2'de görüldüğü üzere, n-hekzadekan faz değişimine başladığı, 340'ıncı saniyede kalorimetre ölçüm ucu, iç sıcaklığı 13,74 °C olarak ölçmüştür. Sıcaklık farkı 894'üncü saniyede tepe noktasına ulaşarak, 30,94 °C olarak ölçülmüştür. Faz

değişimi 957'inci saniyede tamamlanmıştır, bu esnada n-hekzadekanın sıcaklığı 49,92 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 5.2'deki değerler Eşitlik (5.2) yerine konarak, 10 g saf suyun entalpisinde 340 ile 957'inci saniyeler arasındaki değişim 1,67 kJ olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{\Delta Q_{num}}{\Delta t} = K_{tüp} \cdot (T_{dissu} - T_{num}) \quad (5.6)$$

$$T_{num} = T_{içsu} - \Delta T \quad (5.7)$$

$$\frac{\Delta Q_{num}}{\Delta t} = K_{tüp} \cdot (T_{dissu} - T_{içsu}) + K_{tüp} \cdot \Delta T \quad (5.8)$$

$$\frac{\Delta Q_{num}}{\Delta t} = \frac{Q_{içsu}}{\Delta t} + K_{tüp} \cdot \Delta T \quad (5.9)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{\Delta Q_{num}}{\Delta t} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\Delta Q_{içsu}}{\Delta t} + \int_{t_1}^{t_2} K_{tüp} \cdot \Delta T \quad (5.10)$$

$Q_{içsu}$: Tüp içerisindeki saf suyun entalpisindeki değişim(J)

Q_{num} : Tüp içerisindeki numunenin entalpisindeki değişim(J)

T_{num} : Tüp içerisindeki numunenin sıcaklığı (°C)

$T_{içsu}$: Tüp içerisindeki saf suyun sıcaklığı(°C).

$T_{dışsu}$: Tüp dışında beher içerisindeki suyun sıcaklığı (°C).

$K_{tüp}$: Ölçümlerde kullanılan 800 mL saf su içerisine batırılmış cam tüpün, iç ve dış sıcaklıklara bağlı ısı iletim sabiti ($W \text{ } ^\circ C^{-1}$)

ΔT : Numune tüpü ile saf su tüpü arasındaki anlık sıcaklık farkı

Eşitlik (5.6)'daki genel ısı iletimi denkleminde uyarlanan denklemden, sırası ile Eşitlik (5.7), Eşitlik(5.8) ve Eşitlik (5.9) türetilir. Eşitlik (5.9)'un her iki tarafının t_1 ile t_2 arasında integrali alındığında, bu süre içerisinde entalpideki değişimi verecektir. Ölçülen değerler Eşitlik (5.10)'da yerine konduğunda; $t_1 = 340$ saniye ile $t_2 = 957$ saniye arası numunenin (10 g n-hekzadekan) entalpisindeki değişim bulunabilir. Bu değer, saf suyun entalpisindeki değişime, 340 ile 957 saniyeler arası sıcaklık farklarının integralinin $K_{tüp}$ ile çarpımının eklenmesi ile bulunacaktır.

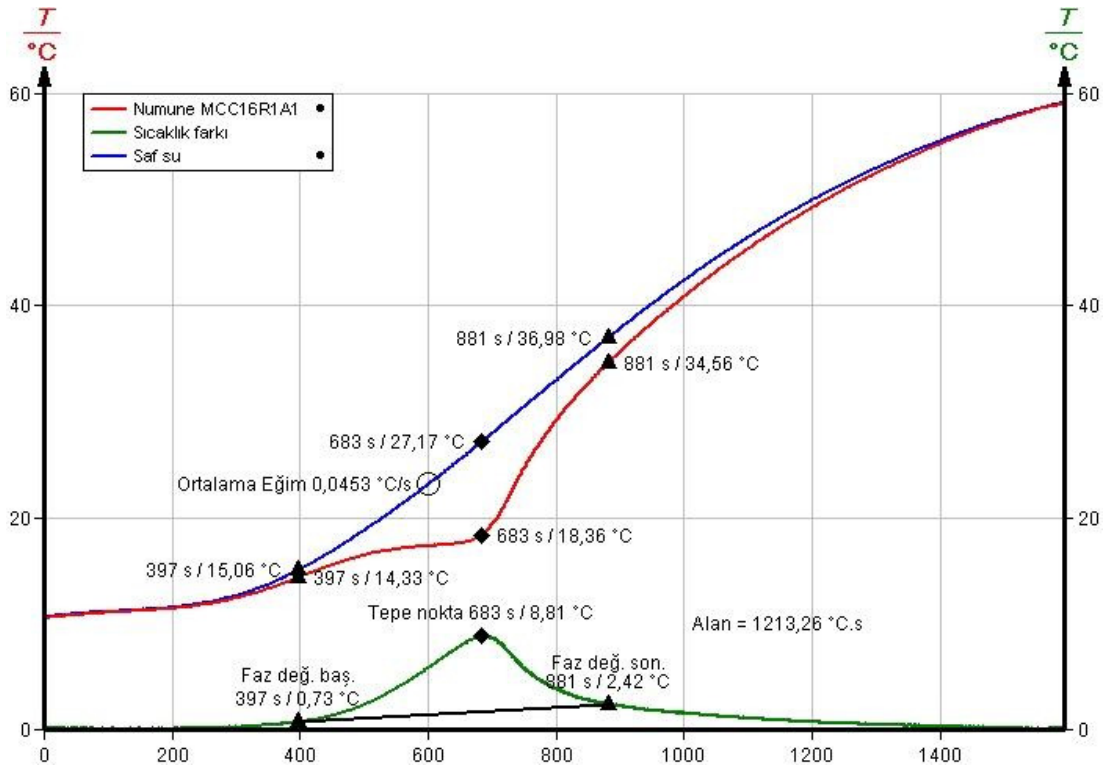
$$Q_{num} = Q_{içsu} + K_{tüp} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \Delta T \quad (5.11)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \Delta T = Alan \quad (5.12)$$

Kalorimetre ölçümleri sonucu elde edilen sıcaklık zaman grafiğinde, fark sıcaklığı eğrisinin t_1 ve t_2 zamanları arasında altında kalan alan, t_1 ile t_2 zamanları arası sıcaklık farklarının integralidir. Bu alanın ısı iletim katsayısı ile çarpımı, ölçülen numunenin entalpisindeki artışın, saf sudan ne kadar fazla olduğunu verir. Şekil 5.2 da faz değişim başlangıcı kabul edilen $t_1 = 340$ saniye ile faz değişim sonu olarak kabul edilen $t_2 = 957$ saniye arası sıcaklık farkının integrali (alan) $7634 \text{ }^\circ\text{Cs}$ 'dir. Eşitlik (5.11)'de yerine konduğunda aynı aralıkta n-hekzadekanın toplam entalpi değişimi $3,99 \text{ kJ}$ olur. Burada $K_{tüp}$, kısım 5.1'de hesaplandığı gibi $0,303 \text{ W}^\circ\text{C}^{-1}$ olarak alınmıştır. Numunemiz 10 g idi, dolayısı ile numunemizin toplam ısı kapasitesi $\Delta H = 398,69 \text{ Jg}^{-1}$ olmuştur. Bu süre zarfında saf su $14,29 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den $54,33 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükselmiştir. Dolayısı ile tüp içerisindeki saf suyun entalpisi; $Q_{i\text{su}} = [10\text{g} \times (54,33 \text{ }^\circ\text{C} - 14,29 \text{ }^\circ\text{C}) \times 4,18 \text{ Jg}^{-1}] = 1,673 \text{ kJ}$ artmıştır. Fark entalpisini hesapladığımızda $2,313 \text{ kJ}$ bulunur ki bu değer 10 g n-hekzadekanın faz değişim ısısına oldukça yakındır.

5.3 Öz Malzeme n-Hekzadekan İçeren Mikrokapsüllerin Isıl Ölçümleri

Aynı reçete kullanılarak, öz malzeme olarak n-hekzadekan içeren dört numune üretilmiştir. Üretilen dört numunede kalorimetre ile ısıtılarak, ısınma davranışları gözlenmiştir. Bu numunelerden ilki olan ve MCC16R1A1 olarak kodlanan mikrokapsüllerden $6,32 \text{ g}$ bir tüpe konmuş, ikinci tüpe de $6,32 \text{ g}$ saf su konarak kalorimetrede $10 \text{ }^\circ\text{C}$ den $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ye $2 \text{ }^\circ\text{Cdk.}^{-1}$ hızla ısıtılmıştır.



Şekil 5.3 : MCC16R1A1 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.3'te, MCC16R1A1 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 14,33 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 34,56 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 683'üncü saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 8,81 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 18,36 °C'dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 397'inci saniye ile 881'inci saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 579,07 J olarak hesaplanmıştır.

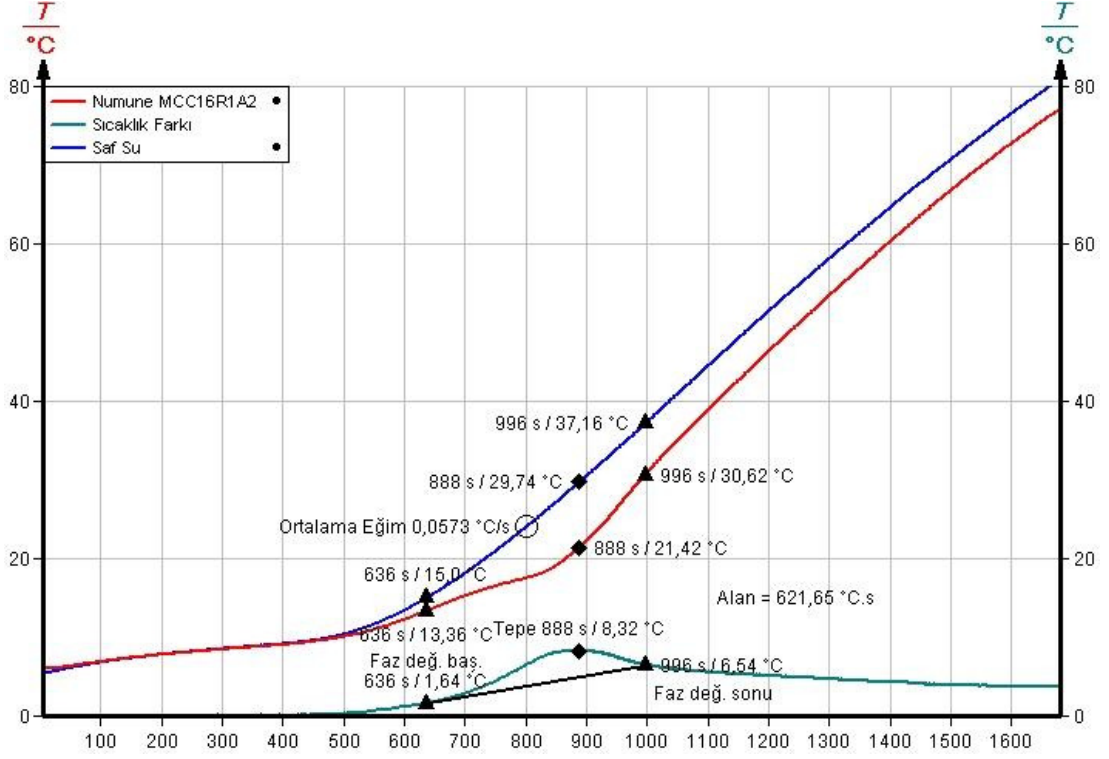
Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 1213,26 °Cs olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin entalpi değişimi Eşitlik (5.11) ile hesaplanmıştır.

$$Q_{num} = Q_{içsu} + K_{tip} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \Delta T$$

$$Q_{num} = [579,07 \text{ J} + (0,303 \text{ Js}^{-1}\text{°C}^{-1} \cdot 1213,26 \text{ °Cs})] = (579,07 \text{ J} + 367,62 \text{ J}) = 946,69 \text{ J}$$

Bu değer kütleye (6,32 g) bölünerek, birim gram başına ısı kapasitesi 149,79 Jg⁻¹ olarak hesaplanabilir. Faz değişim bölgesinde saf suya göre ısı kapasitesi farkı (faz değişim ısısı) L=58,17 Jg⁻¹'dir.

Öz malzeme olarak n-hekzadekan içeren ikinci numune, MCC16R1A2 olarak kodlanan mikrokapsüllerdir. Birinci tüpe 5 g MCC16R1A2'den ve ikinci tüpe 5 g saf su koyularak kalorimetrede 10 °C den 80 °C ye 2 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmıştır.

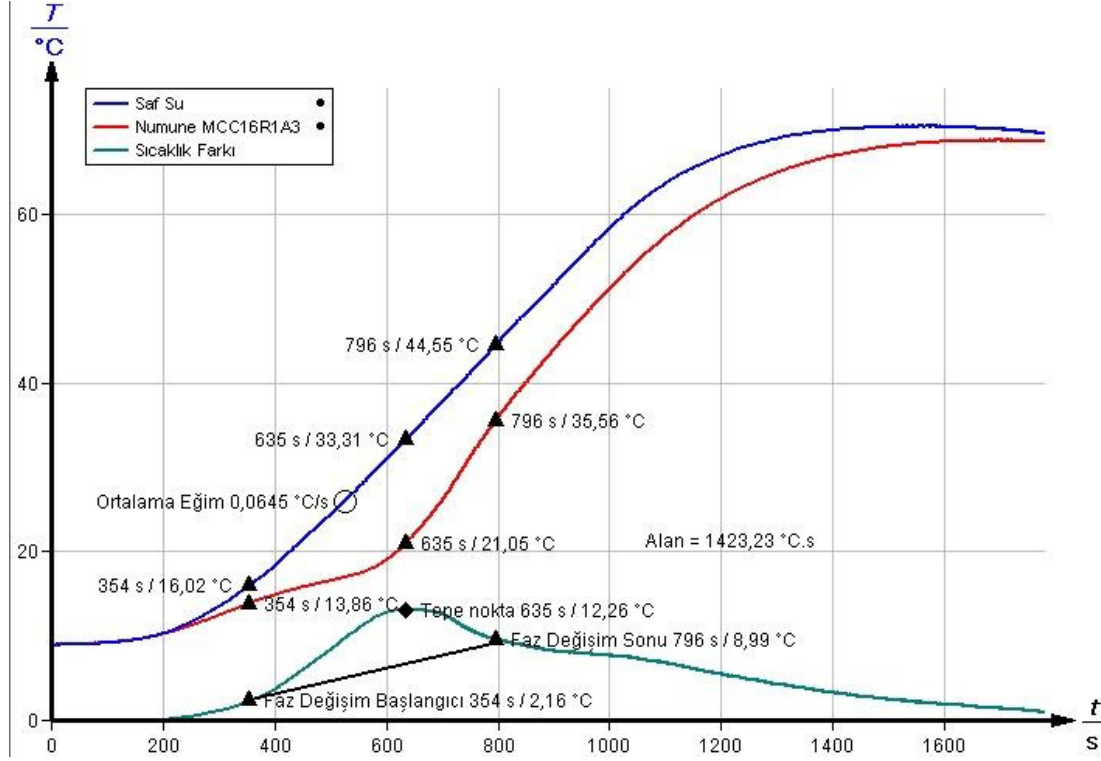


Şekil 5.4 : MCC16R1A2 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.4'te, MCC16R1A2 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 13,36 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 30,62 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 888'inci saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 8,32 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 21,42 °C'dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 636'ıncı saniye ile 996'ıncı saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 463,14 J olarak hesaplanmıştır.

Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 621,65 °Cs olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin toplam entalpi değişimi 651,51 J olarak hesaplanmıştır. Bu değer kütle (5 g) bölünerek, birim gram ısı kapasitesi 130,30 Jg⁻¹ olarak hesaplanabilir. Faz değişim bölgesinde saf suya göre ısı kapasitesi farkı (faz değişim ısısı) L= 37,67 Jg⁻¹'dir.

Öz malzeme olarak n-hekzadekan içeren üçüncü numune, MCC16R1A3 olarak kodlanan mikrokapsüllerdir. Birinci tüpe 5 g MCC16R1A3'den ve ikinci tüpe 5 g saf su koyularak kalorimetrede 10 °C'den 70 °C'ye ısıtılmıştır.

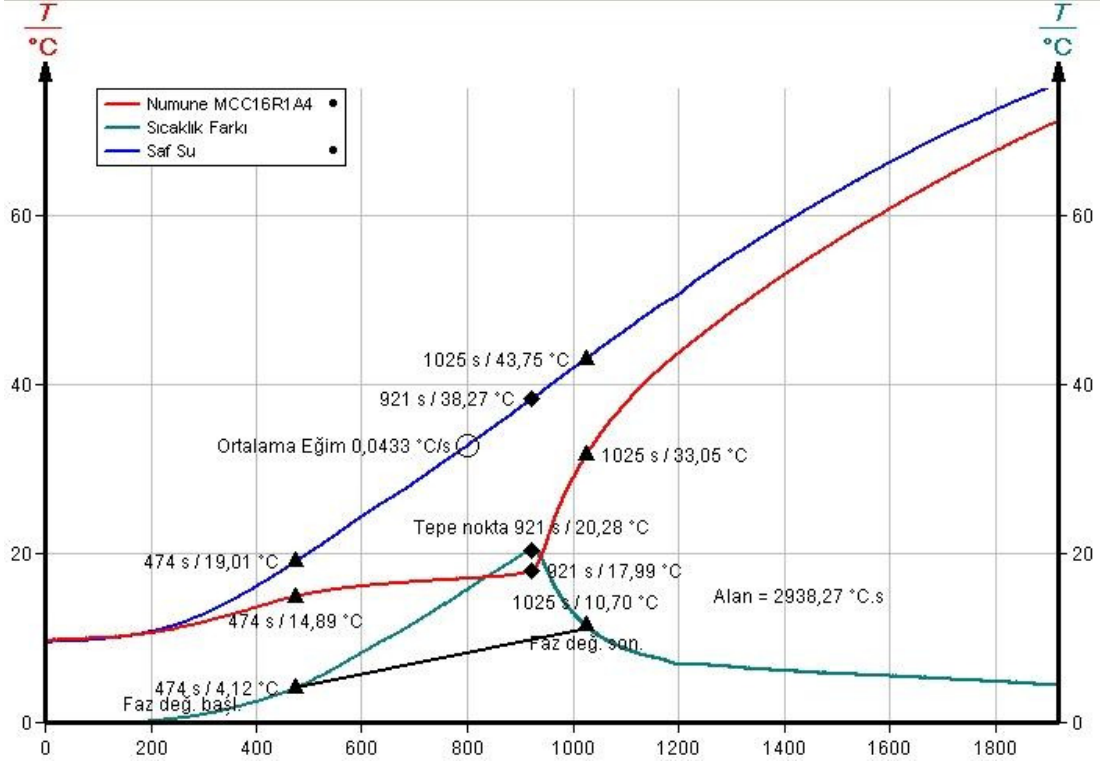


Şekil 5.5 : MCC16R1A3 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.5'te, MCC16R1A3 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 13,86 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 35,56 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 635'inci saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 12,26 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 21,05 °C'dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 354'üncü saniye ile 796'ıncı saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 596,28 J olarak hesaplanmıştır.

Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 1423,23 °Cs olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin toplam entalpi değişimi 1,03 kJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer kütle (5 g) bölünerek, birim gram başına ısı kapasitesi 205,50 Jg⁻¹ olarak hesaplanabilir. Faz değişim bölgesinde saf suya göre ısı kapasitesi farkı (faz değişim ısı) L= 86,25 Jg⁻¹'dir.

Öz malzeme olarak n-hekzadekan içeren dördüncü numune, MCC16R1A4 olarak kodlanan mikrokapsüllerdir. Birinci tüpe 5 g MCC16R1A4'den ve ikinci tüpe 5 g saf su koyularak kalorimetrede 10 °C den 70 °C ye 2 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmıştır.



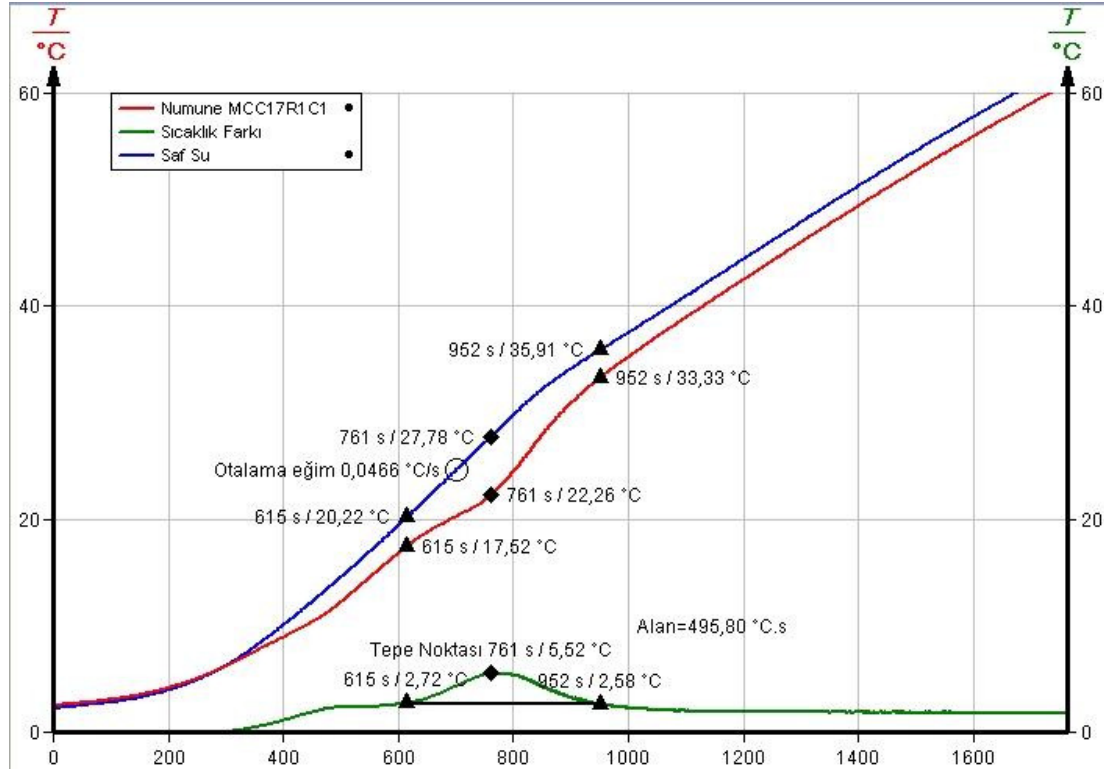
Şekil 5.6 : MCC16R1A4 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.6'da, MCC16R1A4 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 14,89 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 33,05 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 921'inci saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 20,28 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 17,99 °C'dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 474'üncü saniye ile 1025'inci saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 517,07 J olarak hesaplanmıştır.

Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 2938,27 °C.s olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin entalpi değişimi 1,41 kJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer kütleyle (5 g) bölünerek, birim gram başına ısı kapasitesi 281,47 Jg⁻¹ olarak hesaplanabilir. Faz değişim bölgesinde saf suya göre ısı kapasitesi farkı (faz değişim ısısı) L=178,06 Jg⁻¹ dır.

5.4 Öz Malzeme n-Heptadekan İçeren Mikrokapsüllerin Isıl Ölçümleri

Öz malzeme olarak n-heptadekan içeren bir numune üretilmiştir. MCC17R1C1 olarak kodlanan mikrokapsüllerden 4,25 g bir tüpe konmuştur. İkinci tüpe de 4,25 g saf su koyularak kalorimetrede 10 °C den 60 °C ye 2 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmıştır.



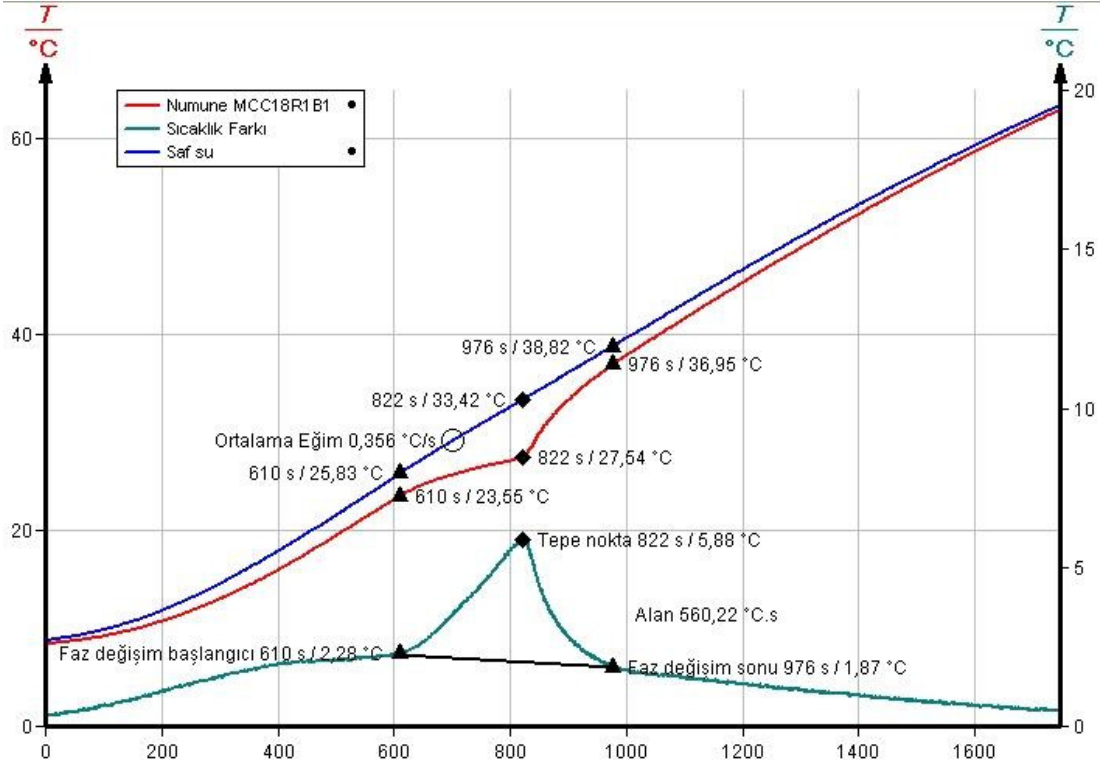
Şekil 5.7 : MCC17R1C1 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.7’de, MCC17R1C1 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 17,52 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 33,33 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 761’inci saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 5,52 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 22,26 °C’dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 615’inci saniye ile 952’inci saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 278,73 J olarak hesaplanmıştır.

Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 495,80 °Cs olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin toplam entalpi değişimi 428,96 J olarak hesaplanmıştır. Bu değer kütle (4,25 g) bölünerek, birim gram başına ısı kapasitesi 100,93 J·g⁻¹ olarak hesaplanabilir. Faz değişim bölgesinde saf suya göre ısı kapasitesi farkı (faz değişim ısısı) L= 35,35 Jg⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

5.5 Öz Malzeme n-Oktadekan İçeren Mikroapsüllerin Isıl Ölçümleri

Aynı reçete kullanılarak, öz malzeme olarak n-oktadekan içeren iki numune üretilmiştir. Bu numunelerden ilki olan ve MCC18R1B1 olarak kodlanan mikrokapsüllerden 8,01 g bir tüpe konulmuş, ikinci tüpe de 8,01 g saf su koyularak kalorimetrede 10 °C den 60 °C ye 2 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmıştır.

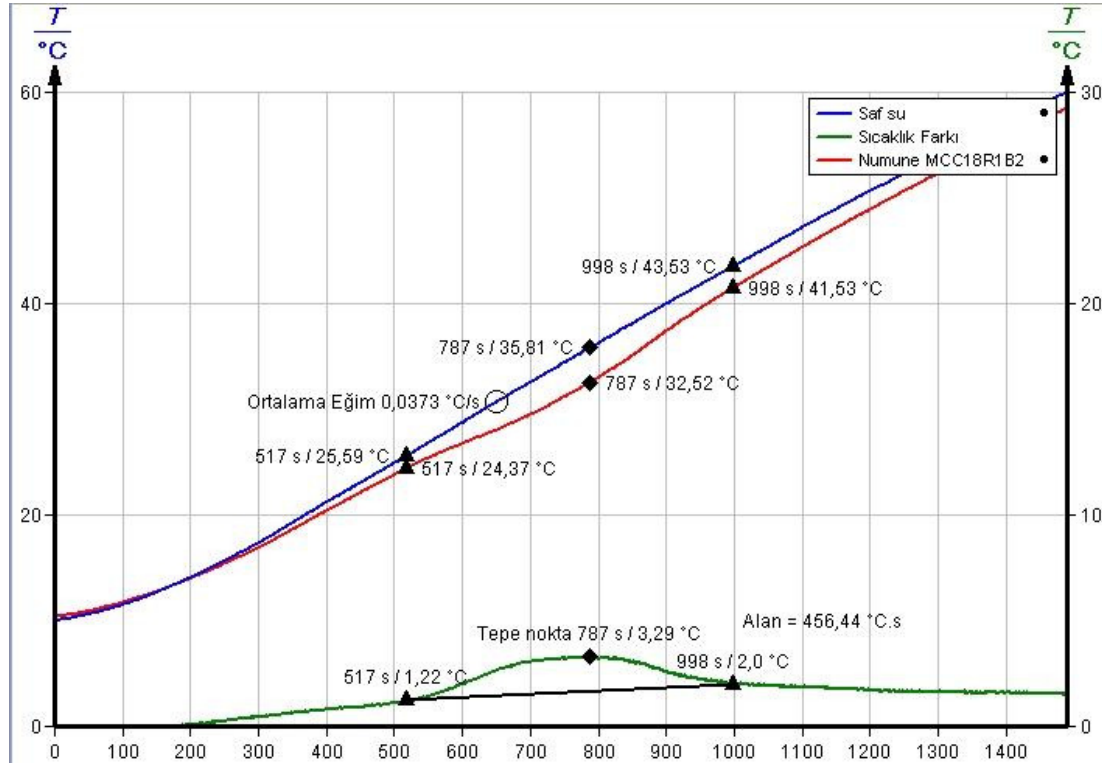


Şekil 5.8 : MCC18R1B1 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.8’de MCC18R1B1 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 23,55 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 36,95 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 822’inci saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 5,88 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 27,54 °C’dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 610’uncu saniye ile 976’ıncı saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 434,93 J olarak hesaplanmıştır.

Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 560,22 °Cs olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin toplam entalpi değişimi 604,68 J olarak hesaplanmıştır. Bu değer kütleyle (8,01 g) bölünerek, birim gram başına ısı kapasitesi 75,49 Jg⁻¹ olarak hesaplanabilir. Bu değer 21,19 Jg⁻¹ kısmı faz değişim ısısı olarak hesaplanmıştır.

Öz malzeme olarak n-oktadekan içeren ikinci numune olan ve MCC18R1B2 olarak kodlanan mikrokapsüllerden 4,13 g bir tüpe konulmuş, ikinci tüpe de 4,13 g saf su koyularak kalorimetrede 10 °C den 60 °C ye 2 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmıştır.



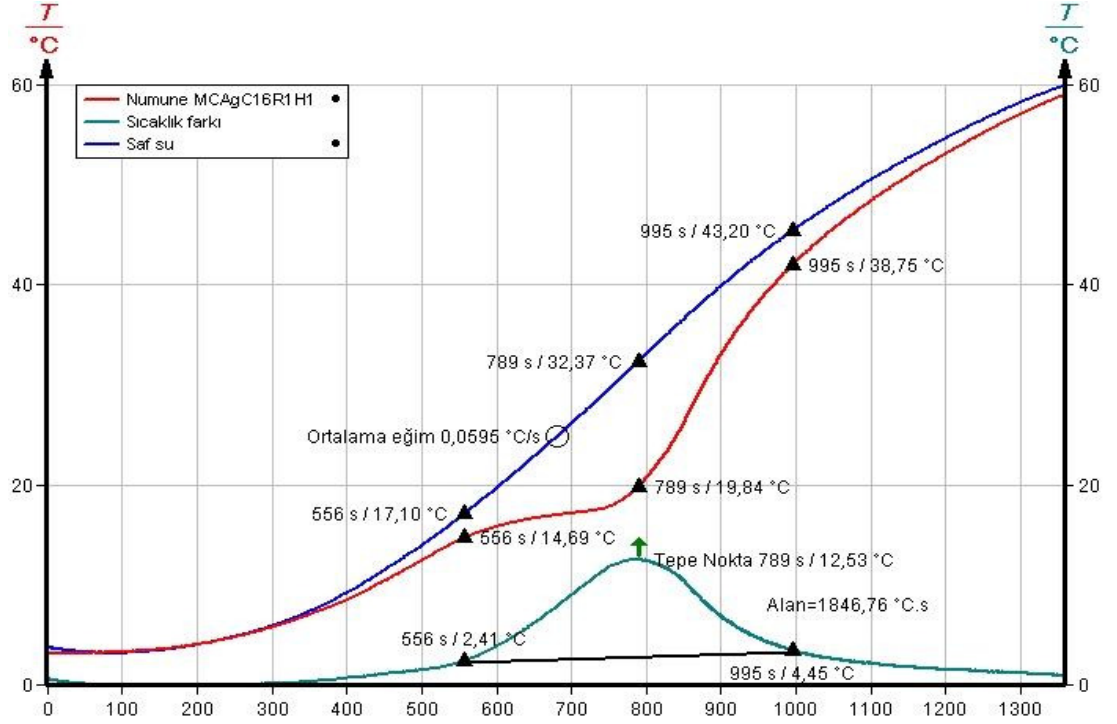
Şekil 5.9 : MCC18R1B2 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.9'da, MCC18R1B2 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 24,37 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 41,53 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 787'inci saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 3,29 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 32,52 °C'dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 517'inci saniye ile 998'inci saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 309,70 J olarak hesaplanmıştır.

Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 456,44 °Cs olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin toplam entalpi değişimi 448,01 J olarak hesaplanmıştır. Bu değer kütleye (4,13 g) bölünerek, birim gram başına ısı kapasitesi 108,48 Jg⁻¹ olarak hesaplanabilir. Birim gram başına faz değişim ısısı ise L=33,49 Jg⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

5.6 Öz Malzeme n-Hekzadekan ve Gümüş İçeren Mikrokapsüllerin Isıl Ölçümleri

Öz malzeme olarak n-hekzadekan içeren mikrokapsüllerin ısı iletkenliğini arttırmak amacı ile mikrokapsüllere gümüş nano parçacıkları eklenmiştir. Gümüş nitrattan indirgenen gümüş nano parçacıkları, iki farklı reçete ile indirgenmiş ve mikrokapsülleme reçetesine ilave edilmiştir. İndirgeme metoduna göre MCAgC16R1H1 ve MCAgC16R1G1 olarak kodlanmışlardır. İlk ölçümde bu numunelerden MCAgC16R1H1 olarak kodlanan mikrokapsüllerden 5,0 g bir tüpe konulmuş, ikinci tüpe de 5,0 g saf su koyularak kalorimetrede 10 °C den 60 °C ye 2 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmıştır.

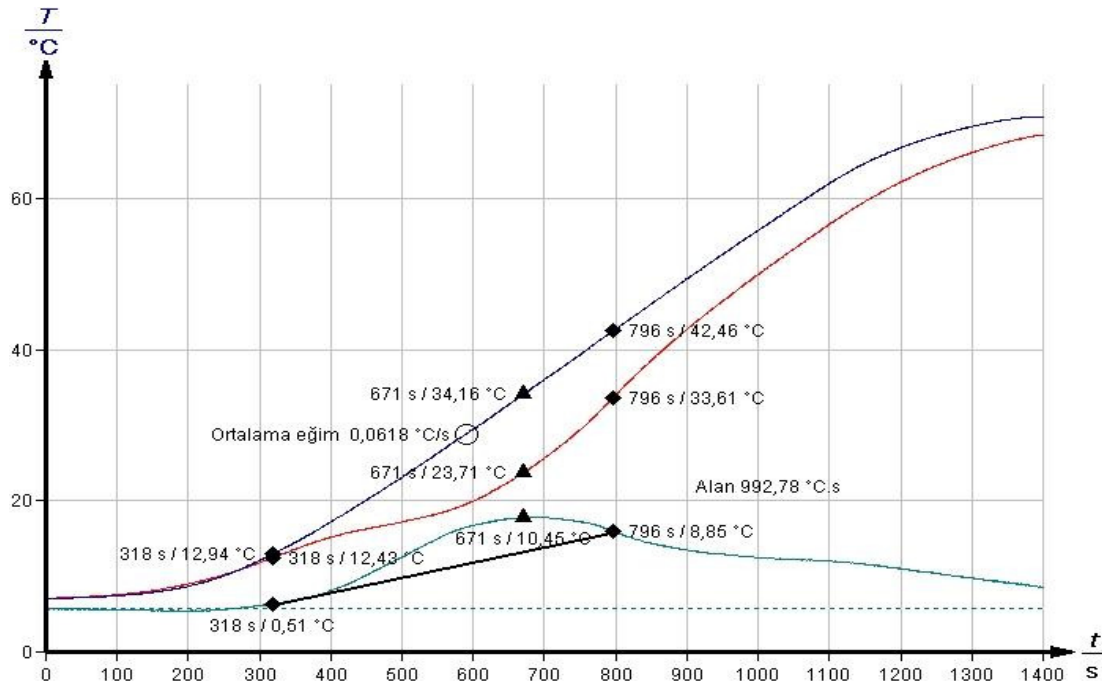


Şekil 5.10 : MCAgC16R1H1 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.10'da MCAgC16R1H1 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 14,69 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 38,75 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 789'uncu saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 12,53 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 19,84 °C'dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 556'ncı saniye ile 955'inci saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 545,49 J olarak hesaplanmıştır.

Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 1846,76 °Cs olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin toplam entalpi değişimi 1,11 kJ olarak hesaplanmıştır. Bu değer kütleye (5,0 g) bölünerek, birim gram başına ısı kapasitesi 221,01 Jg⁻¹ olarak hesaplanabilir. Faz değişim bölgesinde saf suya göre ısı kapasitesi farkı (faz değişim ısısı) L=111,91 Jg⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Öz malzeme olarak n-hekzadekan ve gümüş parçacıkları içeren ikinci mikrokapsül numunesi olan ve MCAgC16R1G1 olarak kodlanan mikrokapsüllerden 5,0 g bir tüpe konulmuş, ikinci tüpe de 5,0 g saf su koyularak kalorimetrede 10 °C den 60 °C ye 2 °Cdk.⁻¹ hızla ısıtılmıştır.



Şekil 5.11 : MCAgC16R1G1 numunesinin kalorimetre ölçümü

Kontrollü ısıtma sonucunda elde edilen Şekil 5.11’de, MCAgC16R1G1 numunesinin faz değişim başlangıcında ölçülen sıcaklığının 12,43 °C ve faz değişim sonunda ölçülen sıcaklığının 33,61 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık farkı 671’inci saniyede tepe noktasına ulaşmış ve 10,45 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık farkının tepe noktasında numune sıcaklığı 23,71 °C’dir. Faz değişim aralığı olarak tanımlanan, 318’ inci saniye ile 796’ıncı saniye arasında, saf suyun entalpisindeki artış 616,97 J olarak hesaplanmıştır.

Faz değişim aralığında, (sıcaklık farkı x zaman) alan 992,78 °Cs olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden hareketle, numunenin toplam entalpi değişimi 917,78 J olarak hesaplanmıştır. Bu değer kütleye (5,0 g) bölünerek, birim gram başına ısı

kapasitesi $183,56 \text{ Jg}^{-1}$ olarak hesaplanabilir. Faz değişim bölgesinde saf suya göre ısı kapasitesi farkı (faz değişim ısısı) $L= 60,16 \text{ Jg}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

5.7 Üretilen Mikrokapsüllerin Kalorimetre Testlerinin Toplu Sonuçları

Çizelge 5.1’de üretilen mikrokapsüllerin kalorimetre ölçümlerinin toplu değerlendirmesi görölmektedir.

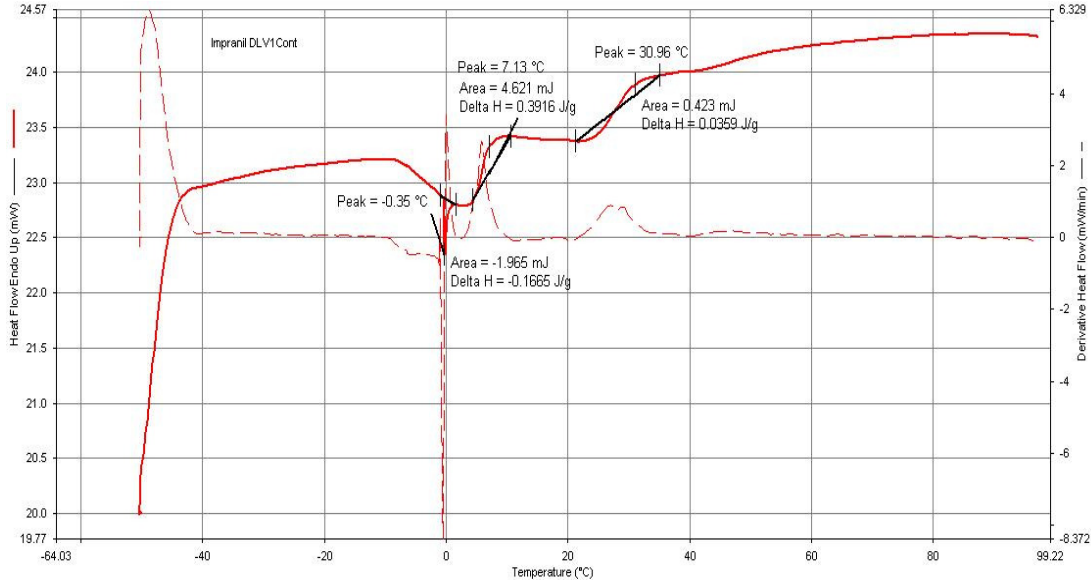
Çizelge 5.1 : Üretilen mikrokapsüllerin toplu kalorimetre analizleri:

Numune kodu	MCC16R1A1	MCC16R1A2	MCC16R1A3	MCC16R1A4	MCAgC16R1H1	MCAgC16R1G1	MCC17R1C1	MCC18R1B1	MCC18R1B2
Miktar (g)	6,32	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,25	8,01	4,13
Saf su ortalama ısınma hızı ($^{\circ}\text{Cs}^{-1}$)	0,0453	0,0573	0,0645	0,0433	0,0595	0,0618	0,0466	0,0355	0,0373
Faz değişim başlangıcı saf su sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	15,06	15,00	16,02	19,01	17,10	12,94	20,22	25,83	25,59
Faz değişim başlangıcı numune sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	14,33	13,36	13,86	14,89	14,69	12,43	17,52	23,55	24,37
Sıcaklık farkı tepe nokta ($^{\circ}\text{C}$)	8,81	8,32	12,26	20,28	12,53	10,45	5,52	5,88	3,29
Tepe noktada saf su sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	27,17	29,74	33,31	38,27	32,37	34,16	27,78	33,42	35,81
Tepe noktada numune sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	18,36	21,42	21,05	17,99	19,84	23,71	22,26	27,54	32,52
Faz değişim sonu saf su sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	36,98	37,16	44,55	43,75	43,20	42,46	35,91	38,82	43,53
Faz değişim sonu numune sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	34,56	30,62	35,56	33,05	38,75	33,61	33,33	36,95	41,53
Faz değişiminde suyun entalpi artışı (J)	579,07	463,14	596,28	517,07	545,49	616,97	278,73	434,93	309,71
Faz değişim süresi: (s)	484	360	442	566	439	478	337	366	481
Faz değişiminde suyun entalpi artış hızı (Js^{-1})	1,196	1,287	1,349	0,914	1,243	1,291	0,827	1,188	0,644
Deney tüpü ısı iletim sabiti ($\text{J}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{s}^{-1}$)	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303	0,303
Faz değişiminde sıcaklık farkı alanı ($^{\circ}\text{Cs}$)	1.213,2	621,65	1.423,2	2.938,2	1.846,7	992,78	495,80	560,22	456,44
Faz değişiminde numunenin toplam fark entalpisi (J)	367,62	188,36	431,24	890,30	559,57	300,81	150,23	169,75	138,30
Faz değişiminde numunenin toplam entalpi artışı (J)	946,69	651,50	1.027,5	1.407,3	1.105,0	917,78	428,96	604,68	448,01
Faz değişiminde numunenin ısı kapasitesi (Jg^{-1})	149,79	130,30	205,50	281,47	221,01	183,56	100,93	75,49	108,48
Numunenin faz değişim ısısı (Jg^{-1})	58,17	37,67	86,25	178,06	111,91	60,16	35,35	21,19	33,49

Çizelge son satırında hesaplanan faz değişimi esnasındaki fark entalpisinin, mikrokapsüllerin faz değiştirme ısısına eşdeğer olduğu düşünölmüştür.

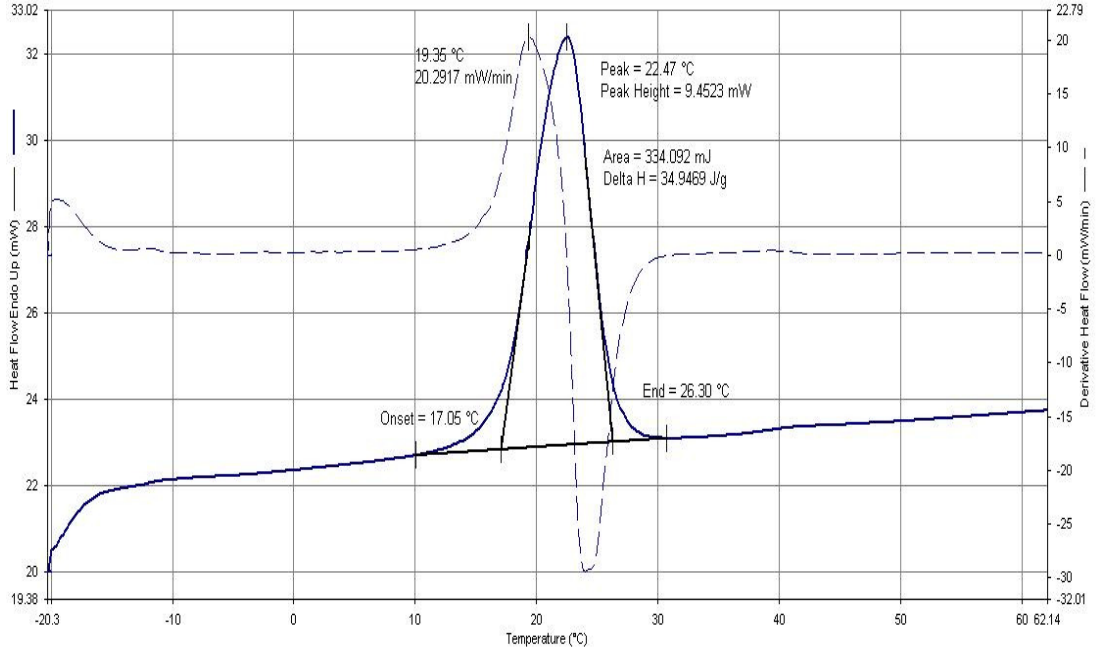
5.8 Mikrokapsül Katılmış İnce Film Tabakalarının DSC Ölçüm Sonuçları

Üretilen mikrokapsüllerin, İmpranil DLV/1 ile karıştırılması ile elde edilen film tabakalarının ısı özellikleri, DSC de incelenmiştir.



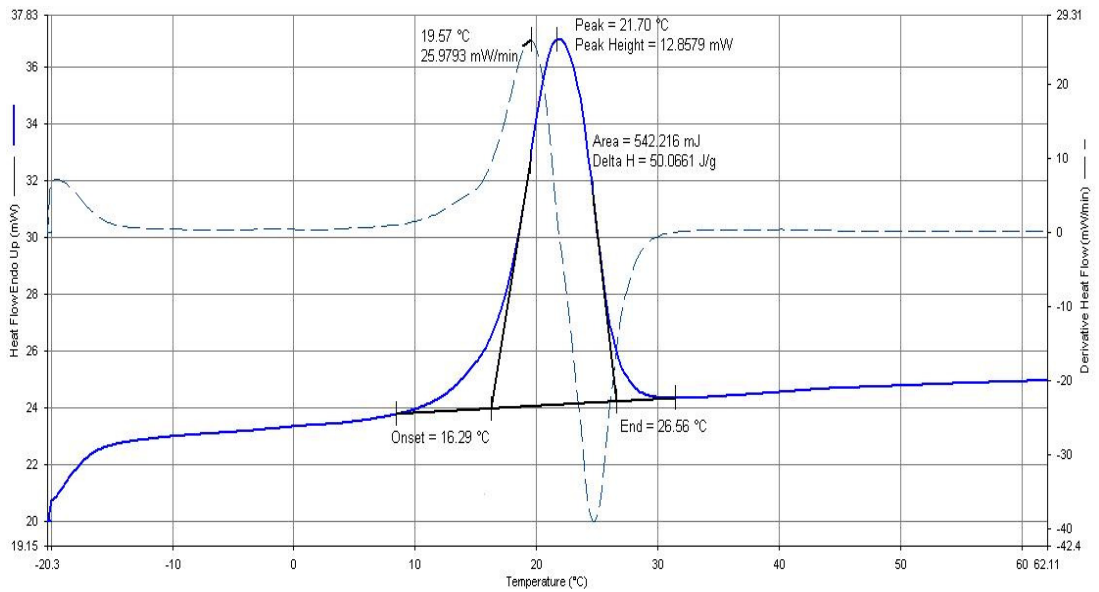
Şekil 5.12 : DLV/1 kontrol film tabakasının DSC analizi.

Şekil 5.12’deki saf DLV’nin DSC analiz sonucu incelendiğinde, malzemenin 7,13 °C ve 30,96 °C’lerde birer camsı geçişi olduğu, sırasıyla $0,39 \text{ Jg}^{-1}$ ve $0,036 \text{ Jg}^{-1}$ enerjiler aldığı görülmektedir. -0,35 °C’de görülen ekzotermik geçiş, $0,1665 \text{ Jg}^{-1}$ enerji açığa çıkarmıştır. Bu ekzotermik geçiş, DLV/1 in yapısında çapraz bağlayıcı olarak kullanılan polieterlerin -0,35 °C’de kristalleşmesi olarak yorumlanmıştır. Poliüretan üretiminde çapraz bağlayıcı olarak poliester ve polieter kullanımı ile ilgili yapılan bir araştırmada, kullanılan Terathane® 2000 ticari isimli poli(tetrametileneter)glikol’de benzer şekilde -17 °C de ekzotermik bir kristalleşme gözlenmiştir[31].



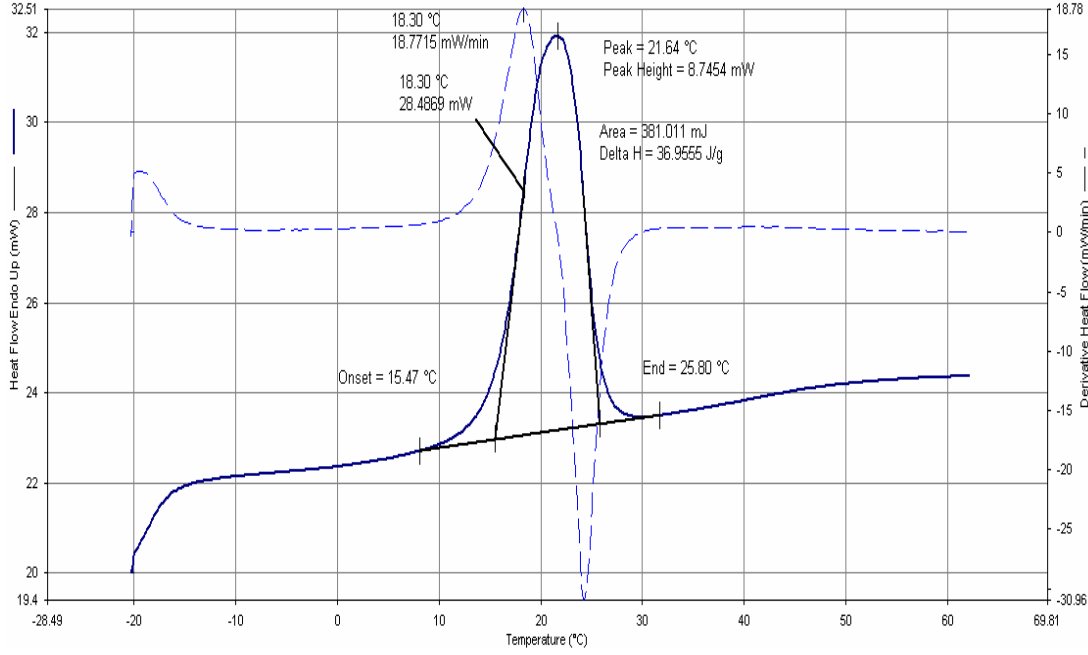
Şekil 5.13 : MCC16R1A4 içeren DLV-F6 film tabakasının DSC analizi.

Şekil 5.13’deki DSC grafiği incelendiğinde, n-hekzadekan içeren DLV-F6 numunesindeki mikrokapsüllerin 17,05 °C’den itibaren faz değişimine başladığı ve 19,35 °C’de ısı çekme hızlarındaki artışın dakikada 20,29 mW’a kadar çıktığı görülmektedir. 22,47 °C’ye kadar numunenin ısı çekişi artarak, bu noktada en yüksek düzeyine ulaştığı görülmüştür. DSC grafiğinde, mikrokapsüllerin faz geçişi esnasında belirgin bir ısı depolama yaptığı açıkça görülebilmektedir. Mikrokapsüllerin faz değişim aralığında depoladığı ısı ise $\Delta H = 34,95 \text{ Jg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür.



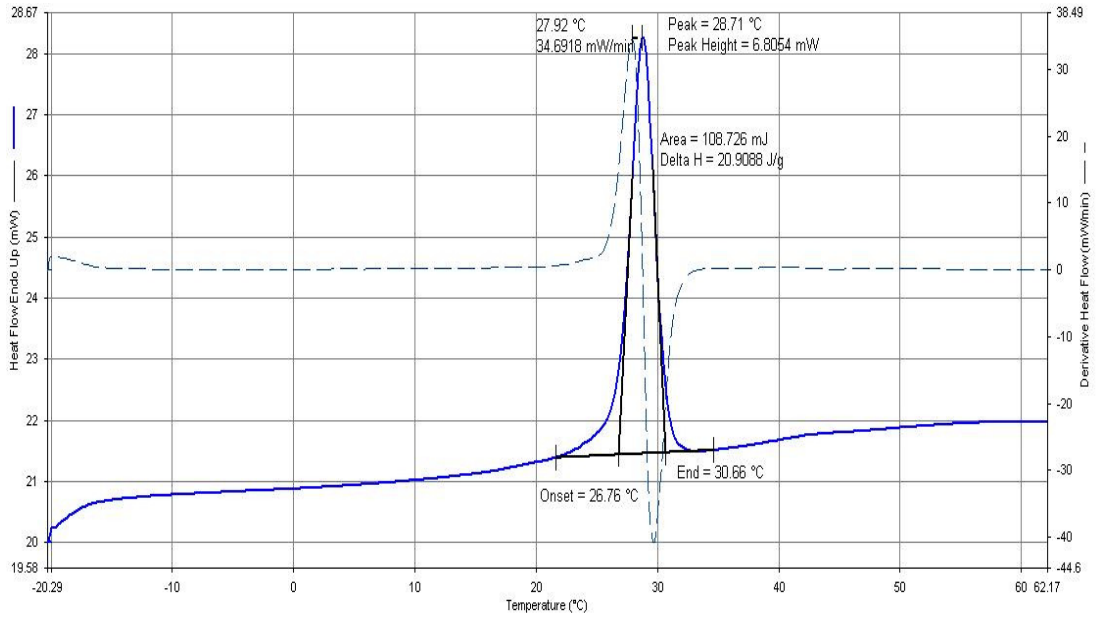
Şekil 5.14 : MCC16R1A1 içeren DLV-F6-1 film tabakasının DSC analizi.

Şekil 5.14'deki DSC grafiği incelendiğinde, n-hekzadekan içeren DLV-F6-1 numunesindeki mikrokapsüllerin 16,29 °C'den itibaren faz değişimine başladığı ve 19,57 °C'de ısı çekme hızlarındaki artışın dakikada 25,98 mW'a kadar çıktığı görülmektedir. 21,70 °C'ye kadar numunenin ısı çekişi artarak bu noktada en yüksek düzeyine ulaştığı görülmüştür. DSC grafiğinde, mikrokapsüllerin faz geçişi esnasında $\Delta H = 50,07 \text{ Jg}^{-1}$ ısı depoladığı görülmektedir.



Şekil 5.15 : MCAGC16R1H1 içeren DLV-F10 film tabakasının DSC analizi.

Şekil 5.15'deki DSC grafiği incelendiğinde, n-hekzadekan ve gümüş nano parçacıkları içeren MCAGC16R1H1 mikrokapsülleri ile üretilen DLV-F10 filmindeki mikrokapsüllerin 15,47 °C'den itibaren faz değişimine başladığı ve 18,30 °C'de ısı çekme hızlarındaki artışın dakikada 28,49 mW'a kadar çıktığı görülmektedir. 21,64 °C'ye kadar numunenin ısı çekişi artarak, bu noktada en yüksek düzeyine ulaştığı görülmüştür. Faz geçişi 25,80 °C son bulmuş ve mikrokapsüllerin faz geçişi esnasında $\Delta H = 36,96 \text{ Jg}^{-1}$ ısı depoladığı görülmüştür.



Şekil 5.16 : MCC18R1B1 içeren DLV-F13 film tabakasının DSC analizi.

Şekil 5.16'daki DSC grafiği incelendiğinde, n-oktadekan içeren MCC18R1B1 mikrokapsülleri ile üretilen DLV-F13 filmindeki mikrokapsüllerin 26,76 °C'den itibaren faz değişimine başladığı ve 27,92 °C'de ısı çekme hızlarındaki artışın dakikada 34,69 mW'a kadar çıktığı görülmektedir. 28,71 °C'ye kadar numunenin ısı çekişi artarak, bu noktada en yüksek düzeyine ulaştığı görülmüştür. Faz geçişi 30,66 °C'de son bulmuş ve mikrokapsüllerin faz geçişi esnasında $\Delta H = 20,91 \text{ Jg}^{-1}$ ısı depoladığı görülmüştür.

5.9 Mikrokapsül İçeren Film Tabakalarının DSC Analizleri Toplu Sonuçları

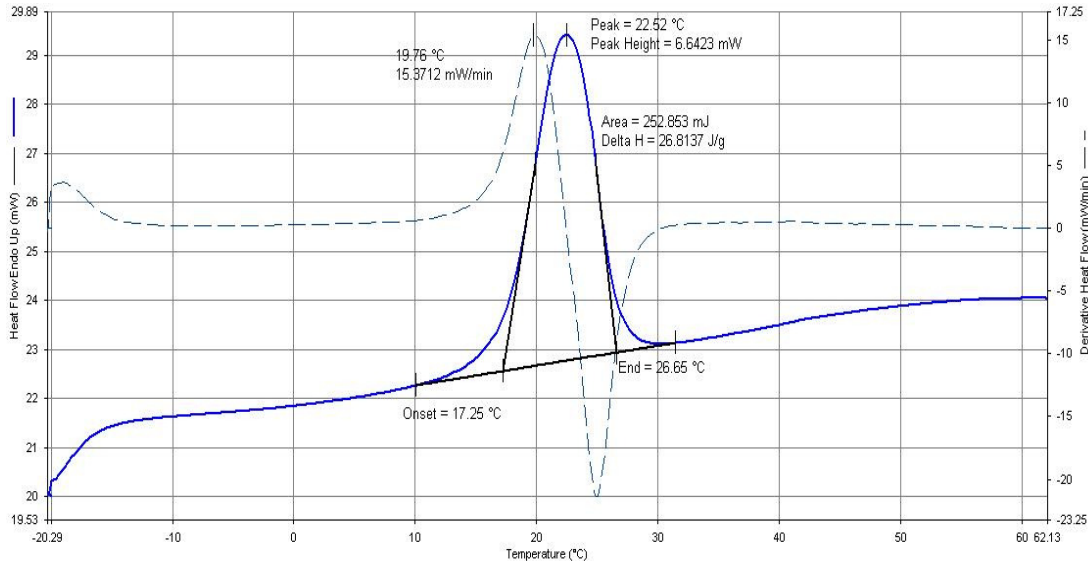
Üretilen film tabakalarının toplu değerlendirmesi Çizelge 5.2'de verilmiştir. n-Hekzadekan içeren üç film tabakasının, faz değişim başlangıç sıcaklıkları ve faz değişim bitim sıcaklıklarının, birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu üç film tabakası içerisinde, ısı depolama kapasitesi en yüksek numune, MCC16R1A1 mikrokapsüllerini içeren DLV-F6-1 film tabakasıdır. n-Oktadekan içeren DLV-F13 film tabakasında ise ısı depolama kapasitesi, göreceli olarak daha küçük olmasına karşın, faz değişim başlangıç sıcaklığı n-hekzadekan içeren numunelerin faz değişim sonu sıcaklığına denk gelmektedir. İki mikrokapsül karıştırılarak yapılabilecek bir uygulamada, faz geçiş aralığı daha geniş olabilecektir.

Çizelge 5.2 : Üretilen film tabakalarının toplu karşılaştırmalı DSC sonuçları:

Film Adı	Mikrokapsül	DSC numunesi (mg)	ΔH (Jg^{-1})	Faz değ, başlangıç (°C)	Tepe nokta (°C)	Faz değ. sonu (°C)	Tepe yükseklik (mW)	İvme ($mWdk^{-1}$)
DLV-F6	MCC16R1A4	9,56	34,95	17,05	22,47	26,3	9,45	20,29
DLV-F6-1	MCC16R1A1	10,83	50,06	16,29	21,7	26,56	12,86	25,98
DLV-F10	MCAgC16R1H1	10,31	36,95	15,47	21,64	25,8	8,75	18,77
DLV-F13	MCC18R1B1	5,20	20,91	26,76	28,71	30,66	6,8	34,69

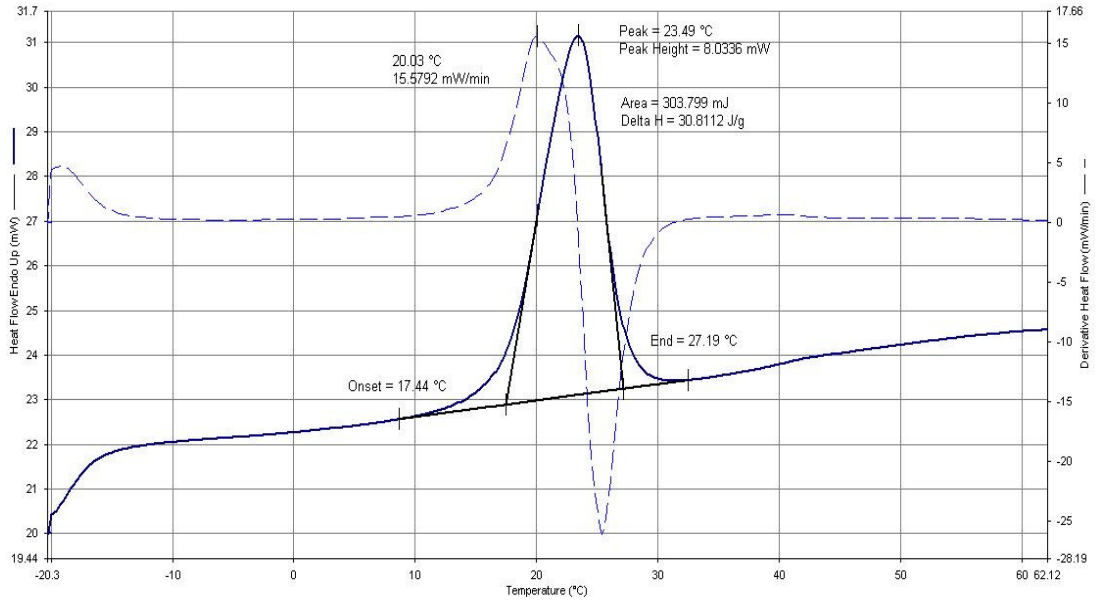
5.10 Mikrokapsül Kaplanmış Kumaşların DSC Analiz Sonuçları

%100 Pamuk dokuma kumaş üzerine, DLV/1 yardımıyla sıvama olarak kaplanan mikrokapsüller ile oluşturulan numuneler DSC cihazında incelenmiş ve ısınma grafikleri çıkarılmıştır.



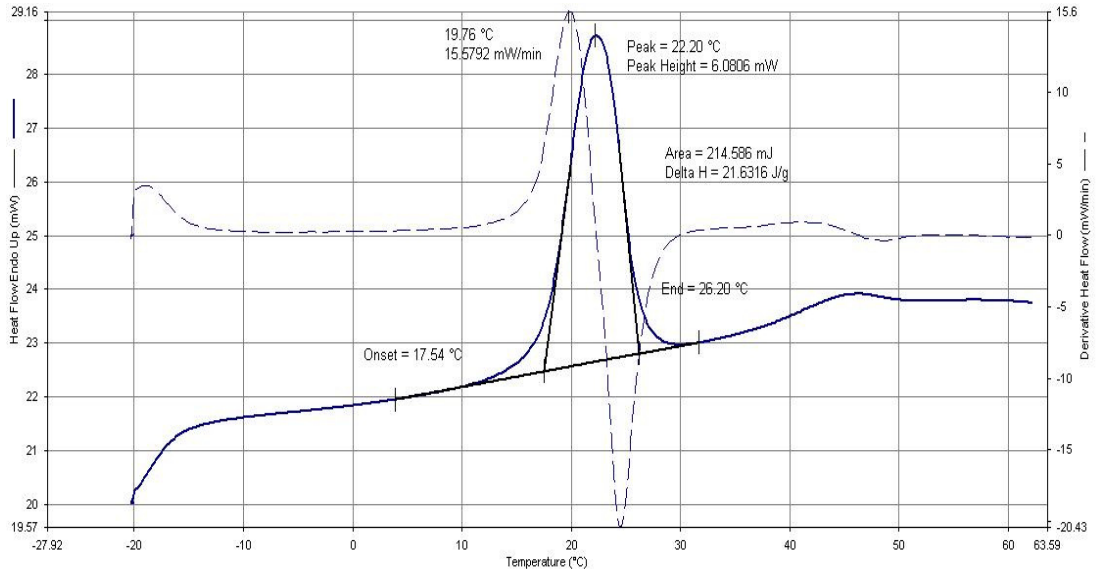
Şekil 5.17 : DLV-C7 numunesinin DSC ölçümü.

MCC16R1A4 kodlu mikrokapsüller ve DLV/1'den oluşan film ile kaplanmış, %100 pamuk dokuma kumaştan oluşan, DLV-C7 numunesinin, Şekil 5.17'deki DSC grafiği incelendiğinde, 17,25 °C ile 26,65 °C aralığında faz değişimi gözlenmiş, bu aralıkta numunenin $26,81 Jg^{-1}$ ısı depoladığı ölçülmüştür.



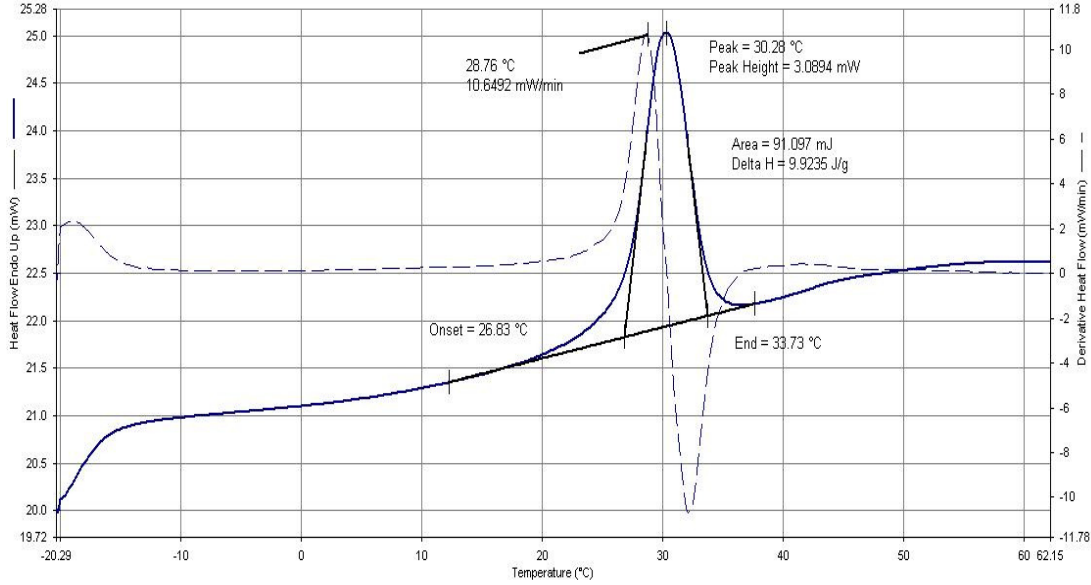
Şekil 5.18 : DLV-C9 numunesinin DSC ölçümü.

DLV-C9 numunesi hazırlanırken, kurutulduğunda %60 mikrokapsül %40 DLV1 içerecek şekilde hazırlanan film, %100 pamuk kumaş üzerine sıvanarak kurutulmuştur. DLV-C9 numunesi mikrokapsül olarak MCC16R1A4 içermektedir. Kumaş üzerine eklenen mikrokapsül miktarı artırılarak üretilen DLV-C9 numunesi, 17,44 °C’de faz değişimine başlamaktadır. Şekil 5.18’de görüldüğü gibi 27.19 °C’ye kadar 30,81 Jg⁻¹ faz değişim ısısı depolamaktadır. Kaplanmış ağırlığı 493,5 gm⁻² gelen kumaşın, 17,44 °C - 27.19 °C aralığında toplam ısı depolama kapasitesi de 15,21 kJm⁻² olarak hesaplanmaktadır.



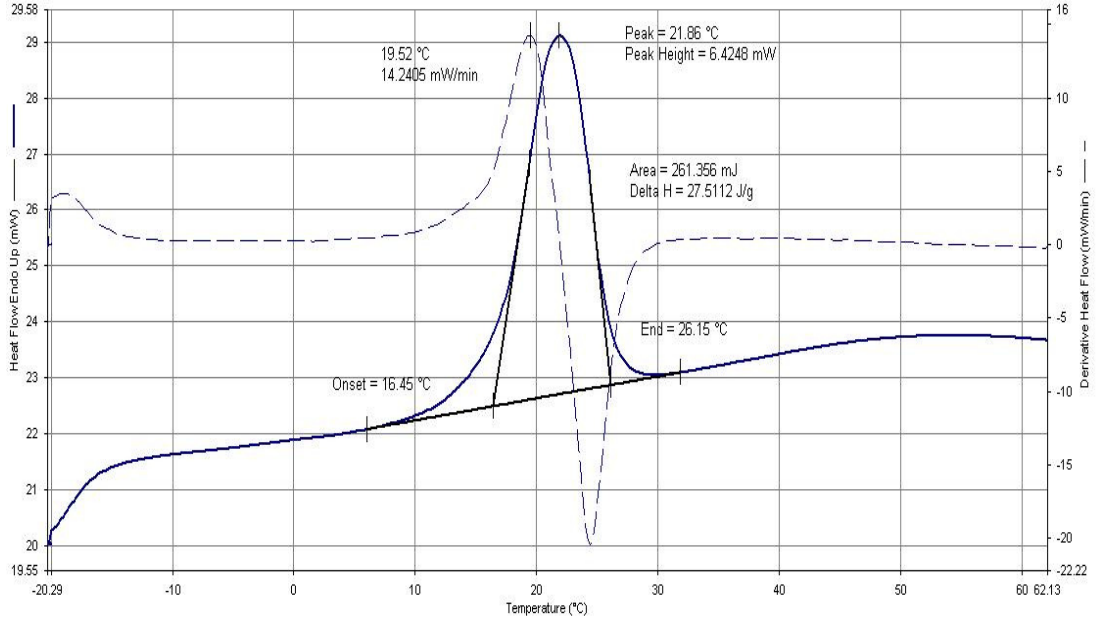
Şekil 5.19 : DLV-C10 numunesinin DSC ölçümü.

DLV-C10 numunesi üretiminde, kurutulduğunda %50 mikrokapsül %50 DLV1 içerecek şekilde hazırlanan film, %100 pamuk kumaş üzerine sıvanarak kurutulmuştur. Üretilen numune mikrokapsül olarak MCAgC16R1H1 içermektedir. DLV-C10 numunesi, 17,54 °C'de faz değişimine başlamaktadır. Şekil 5.19'da görüldüğü gibi 26,20 °C'ye kadar 21,63 Jg⁻¹ faz değişim ısısı depolamaktadır. Kaplanmış ağırlığı 422,8 gm⁻² gelen kumaşın, 17,44 °C - 27.19 °C aralığında ısı depolama kapasitesi de 9,15 kJm⁻² olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 5.20 : DLV-C13 numunesinin DSC ölçümü.

DLV-C13 numunesi üretiminde, kurutulduğunda %60 mikrokapsül %40 DLV1 içerecek şekilde hazırlanan film, %100 pamuk kumaş üzerine sıvanarak kurutulmuştur. Üretilen numune mikrokapsül olarak MCC18R1B1 kullanılmıştır. DLV-C13 numunesi, 26,83 °C'de faz değişimine başlamaktadır. Şekil 5.20'de görüldüğü gibi 33,73 °C'ye kadar 9,92 Jg⁻¹ faz değişim ısısı depolamaktadır. Kaplanmış ağırlığı 306,8 gm⁻² gelen kumaşın, 26,83 °C – 33,73 °C aralığında ısı depolama kapasitesi 3,04 kJm⁻² olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 5.21 : DLV-C14 numunesinin DSC ölçümü

DLV-C14 numunesi üretiminde, kurutulduğunda %50 mikrokapsül %50 DLV1 içerecek şekilde hazırlanan film, %100 pamuk kumaş üzerine sıvanarak kurutulmuştur. Üretilen numunede mikrokapsül olarak MCC16R1A1 kullanılmıştır. DLV-C14 numunesi, 16,45 °C de faz değişimine başlamaktadır. Şekil 5.21’de görüldüğü gibi 26,15 °C ye kadar 27,51 Jg⁻¹ faz değişim ısısı depolamaktadır. Kaplanmış ağırlığı 355,4 gm⁻² gelen kumaşın, 16,45 °C – 26,15 °C aralığında ısı depolama kapasitesi 9,78 kJm⁻² olarak hesaplanmaktadır.

5.11 Mikrokapsül Kaplanmış Kumaş Numunelerinin DSC Analizleri Toplu Sonuçları

Seçilen %100 pamuk dokuma kumaş üzerine DLV/1 kaplama malzemesi ile karıştırılarak kaplanan mikrokapsüllerin, eklendikleri kumaşa bir ısıl kapasite kazandırdıkları gözlemlenmiştir. Kaplanan kumaş numunelerinin karşılaştırmalı DSC sonuçları, Çizelge 5.3’te görülmektedir.

Üretilen kumaş numunelerinin ısıl kapasitelerinin, kaplanan mikrokapsül miktarı ile orantılı olarak attığı gözlenmiştir. %60 mikrokapsül içeren kaplamadan kalın bir tabaka ile kaplanan ve nihai gramajı 493,5 gm⁻² olan DLV-C9 numunesi, en yüksek ısıl depolama kapasitesine sahip kumaş olmuştur. 30,81 Jg⁻¹’lık ısıl depolama kapasitesi ile DLV-C9 numunesi, metrekarede 15,21 kJ ısıl depolama yapabilecektir.

Çizelge 5.3 : Mikro kapsül ihtiva eden kumaşların karşılaştırmalı DSC sonuçları:

Numune Adı	Mikrokapsül	DSC numunesi (mg)	ΔH (Jg^{-1})	Faz değişim başlangıç ($^{\circ}C$)	Tepe nokta ($^{\circ}C$)	Faz değişim sonu ($^{\circ}C$)	Tepe yükseklik mW	İvme $mWdk.^{-1}$
DLV-C7	MCC16R1A4	9,43	26,81	17,25	22,52	26,65	6,64	15,37
DLV-C9	MCC16R1A4	9,86	30,81	17,44	23,49	27,19	8,0336	15,58
DLV-C10	MCAgC16R1H1	9,92	21,63	17,54	22,2	26,2	6,08	15,58
DLV-C13	MCC18R1B1	9,18	9,92	26,83	30,28	33,73	3,09	10,65
DLV-C14	MCC16R1A1	9,50	27,5	16,45	21,86	26,15	6,42	14,24

6. GENEL TARTIŞMA

Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, çalışmanın genel hatları ile başarılı olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, ısı depolama kabiliyeti olan bir tekstil yüzeyi üretiminin mümkün olduğunu göstermiştir. Üretilen mikrokapsüllerin, öngörüldüğü gibi 15 °C ile 30 °C arasında ısı depolama kabiliyeti olduğu görülmüştür. Ayrıca, üretilen mikrokapsüllerin su bazlı poliüretan dispersiyonu ile tekstil yüzeylerine bağlanabileceği görülmüştür.

Üretilen mikrokapsüllerde, molekül ağırlığı daha düşük olan hegzadekanın mikrokapsüllenmesinin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. İlk reçete ile üretilen n-hegzadekan içeren MCC16R1A1 mikrokapsüllerin, TÜBİTAK laboratuvarlarında yapılan DSC analizinde, 126 Jg⁻¹ gibi bir faz değiştirme ısısı gözlenmiştir. Heptadekan ve oktadekan ile yapılan çalışmalarda henüz hegzadekan kadar başarılı olunamamıştır.

Mikrokapsüllere gümüş katarak kapsül duvarından öz malzemeye ısı transferini arttırmak ve bu sayede mikrokapsüllerin çevredeki sıcaklık değişimlerine daha hızlı tepki vermesini sağlamak fikri ile üretilen MCAgC16R1H1 numunesi de başarılı sonuçlar vermiştir. Yapılan ölçümlerde, mikrokapsüllenme başarısının gümüş ilavesi ile fazla etkilenmediği görülmüştür. MCAgC16R1H1 numunesine yapılan DSC taraması sonucunda 112 Jg⁻¹lık faz değişim ısısı ölçülmüştür. Bu değerde gümüşsüz mikrokapsüllere yakın bir değerdir.

Üretilen film tabakalarında, kaplama malzemesi DLV/1'in mikrokapsüllerin ısı depolama özelliğini etkilemediği görülmüştür.

Seçilen %100 pamuk dokuma kumaş üzerine DLV/1 kaplama malzemesi ile karıştırılarak kaplanan mikrokapsüllerin, eklendikleri kumaşa bir ısı kapasite kazandırdıkları gözlemlenmiştir.

Üretilen kumaş numunelerinden, 30,81 Jg⁻¹'lık ısı depolama kapasitesi ile DLV-C9 numunesi metrekarede 15,21 kJ ısı depolama kapasitesi ile yüksek ısı depolama kapasitesine sahip bir giysi üretiminde kullanılabilecek bir üründür.

6.1 Gelişmiş Isıl Özellikleri Olan Bir Giysi Modellemesi

Elde edilen kumaşların ısı depolama kabiliyetlerine dayanarak, ısı özellikleri gelişmiş giysiler modellenmiştir. Bu modellemede DLV-C9 kumaşı bir giysi birleşimi içerisinde ara katman olarak düşünülmüştür. Sabit tutulmak istenen cilt sıcaklığının 33 °C ve dış ortam sıcaklığının -15 °C olduğunu varsaydığımızda, faz geçiş sıcaklığı 17 °C ile 27 °C arasında olan kumaşımızın ciltten de, en dış katmandan da uzak olması gerektiği görülür. Ciltte 33 °C olan sıcaklık ciltten dış ortama doğru katmanlarda azalacak en dış katmanın sıcaklığı 0 °C'nin altına düşebilecektir. Burada mikrokapsüllerin faz geçişinin gerçekleşebileceği orta katmanda kullanılması gereklidir.

6.1.1 Modellemede kullanılan ısı transferi denklemleri

Aşağıdaki denklemler modelin oluşturulmasında ve çözümlenmesinde kullanılmıştır.

Genel ısı kazanım denklemi:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (6.1)$$

Q toplam kazanılan ya da kaybedilen ısı miktarıdır, m ısı alan ya da veren cismin kütlesi, c cismin özgül ısısı ΔT ise ilk sıcaklığı ile son sıcaklığı arasındaki farktır. Cismin ne kadar ısı aldığı ya da verdiği kütlesi, özgül ısısı, ilk ve son sıcaklıklarının fonksiyonudur. Bu denklem zamandan bağımsız toplam ısıyı verir. Sistem incelenirken, anlık farklı ısı geçişleri olduğu düşünülürse, anlık ısı geçişi Eşitlik (6.2) ile hesaplanır.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot x^{-1} \cdot (T_{dis} - T_{iç}) \quad (6.2)$$

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ birim zamandaki ısı akısı, A yüzey kesit alanı, x maddenin ısı geçiş bölgesi kalınlığı, k malzeme cinsi ve sıcaklığına bağlı olan ısı iletim katsayısı, ve $(T_{dis} - T_{iç})$ iç yüzey ile dış yüzey arası sıcaklık farkıdır.

Fourier kanunu olarak bilinen bu kanun, ısı denkleminin temelini oluşturur. R değeri, iki taraf arasındaki ısı direncini belirtir. Ohm kanunu, Fourier kanunu'nun elektrikteki karşılığıdır.

$$\text{Isıl iletkenlik} \quad U = k \cdot x^{-1} \quad \text{yazılıp,} \quad (6.3)$$

Fourier kanunu denkleminde yerine koyulursa;

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = U \cdot A \cdot (T_{dis} - T_{iç}) \quad \text{elde edilir.} \quad (6.4)$$

$$\text{Isıl iletkenliğin tersi} \quad \frac{1}{U} = R \quad \text{ısıl direnci verir.} \quad (6.5)$$

Katmanlar halinde bir giysi düşünülürse toplam ısıl direnç, tek tek katmanların ısıl dirençleri toplamına eşittir.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (6.6)$$

6.2 Giysi Tasarımı

İkinci bölümde tarif edilen insan vücudunun ortalama özellikleri incelendiğinde: vücudun iç sıcaklığı: 36,5 – 37 °C iken, cilt yüzeyinde ortalama sıcaklık 32-33 °C'dir. Ortalama yetişkin bir insanın yüzey alanı 1,8 m² kabul edilmiştir. İnsanın konforlu hissetmesi ürettiği ısıya, dış ortamdaki değişimlere rağmen cilt sıcaklığını sabit tutmasına bağlıdır. Tasarımın amacı, bu iç koşulları sabit tutmak olduğu için ısıl denge modelinde iç şartlar sabit kabul edilmiştir.

Vücudun ürettiği ısının %15'ini nefes yoluyla atılmaktadır. Kalan %85'in tamamının giysi tarafından iletileceği varsayılmıştır. (Açıkta kalacak yüzeylerden olan ısı kayıpları -yüz, eller- ihmal edilmiştir.)

Çizelge 6.1'de, vücudun ısıl dengesini koruyabilmek için, değişik metabolizma hızları ve değişik dış ortam sıcaklıklarında, gerekli olacak ısıl dirençler hesaplanmıştır. Sabit bir kıyafette, ısıl direncin bu şekilde değişmesi mümkün değildir. Isıl direncin değişmesi, ancak kıyafet sistemine yeni katmanlar ilave etmek ya da çıkarmakla olabilecektir. Bu da her zaman mümkün değildir.

Çizelge 6.1 : Değişik faaliyetlerde ve değişik dış ortam sıcaklıklarında ısııl denge için giysinin sahip olması gereken toplam ısııl direnç

Faaliyet	Vücut tarafından birim zamanda üretilen ısı (W)	Nefes ile birim zamanda atılan ısı (W)	Giysiden birim zamanda iletilecek ısı (W)	Dış ortam sıcaklığı (°C)	ΔT (°C)	Gerekli ısı iletim katsayısı ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$)	Gerekli ısııl direnç ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$)
Oturuyor	100	15,0	85,0	10	23	2,05	0,49
Yürüyor	150	22,5	127,5	10	23	3,08	0,32
Bedeni ile çalışıyor	200	30,0	170,0	10	23	4,11	0,24
Ağır çalışma / koşma	250	37,5	212,5	10	23	5,13	0,19
Oturuyor	100	15,0	85,0	0	33	1,43	0,70
Yürüyor	150	22,5	127,5	0	33	2,15	0,47
Bedeni ile çalışıyor	200	30,0	170,0	0	33	2,86	0,35
Ağır çalışma / koşma	250	37,5	212,5	0	33	3,58	0,28
Oturuyor	100	15,0	85,0	-10	43	1,10	0,91
Yürüyor	150	22,5	127,5	-10	43	1,65	0,61
Bedeni ile çalışıyor	200	30,0	170,0	-10	43	2,20	0,46
Ağır çalışma / koşma	250	37,5	212,5	-10	43	2,75	0,36
Oturuyor	100	15	85	-15	48	0,98	1,02
Yürüyor	150	22,5	127,5	-15	48	1,48	0,68
Bedeni ile çalışıyor	200	30	170	-15	48	1,97	0,51
Ağır çalışma / koşma	250	37,5	212,5	-15	48	2,46	0,41

Dinamik bir ısııl direnç yaratmak yerine, giysilerin belirli bir miktar ısıı depolamasının, ısııl konfor süresini arttıracakğı düşünölmüştür. Bu veriler ışığında iki soğuk iklim kıyafeti tasarlanmıştır:

6.2.1 Soğuk iklim koşullarında çalışan işçi kıyafeti modellenmesi

Ağır kış koşullarında dış ortamda çalışmak zorunda olan işçiler için bir tulum tasarlanması düşünölmüştür. Ortalama dış sıcaklığın $-15\text{ }^\circ\text{C}$ olduğı kabul edilmiştir. Bu şartlarda çalışan bir insanın, çalışma esnasında terlemesini, dinlenme zamanlarında ise üşümesini engelleyecek bir kıyafete ihtiyacı vardır.

Çizelge 6.1’de göröldüğü gibi dış hava sıcaklığını sabit $-15\text{ }^\circ\text{C}$ kabul edildiğinde bedeni ile çalışan bir işçinin, çalışma sürecince ihtiyacı olan giyinme ısııl direnci $0,51\text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C}\text{W}^{-1}$ ’dır. Buna karşılık, dinlenme süresinde otururken ihtiyaç duyacakğı giyinme ısııl direnci $1,02\text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C}\text{W}^{-1}$ ’dır. Bu modelde, laboratuvar ortamında üretilen DLV-C9 kumaşının bir ara katman olarak kullanıldığı ve giysilerin toplam ısııl direncinin $0,55\text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C}\text{W}^{-1}$ olduğı, çok katmanlı bir giysi sistemi düşünölmüştür

Çizelge 6.2 : Model 1: Soğuk iklimde çalışan işçi kıyafeti tasarımı

	Cilt alanı = giysi alanı	A	1,80	m ²
	Giysilerin toplam ısı direnci	R	0,55	m ² °C W ⁻¹
	Giysilerin toplam ısı iletim katsayısı	U	1,82	W m ⁻² °C ⁻¹
	Cilt sıcaklığı	T _{cilt}	33	°C
	Dış ortam sıcaklığı	T _{dış}	-15	°C

Çalışma zamanı	Çalışırken vücudun birim zamanda ürettiği ısı	$\Delta Q_M/\Delta t$	200	W
	Çalışırken nefes ile birim zamanda atılan ısı	$\Delta Q_{nefes}/\Delta t$	30	W
	Çalışırken vücuttan birim zamanda uzaklaşması gereken ısı miktarı	$\Delta Q_{cilt}/\Delta t$	170	W
	$Q_{giysi} = [U \times A \times (T_{cilt} - T_{dış})]$			
	Giysilerden ısı iletimi ile birim zamanda uzaklaşabilecek ısı miktarı	$\Delta Q_{giysi}/\Delta t$	157,09	W
	Birim zamanda uzaklaştırılamayan fazla ısı	$\Delta Q_{kalan}/\Delta t$	12,91	W
	Kumaş DLV-C9'un ısı depolama kapasitesi	Q _{depo}	15,21	kJm ⁻²
	1,8 m2 DLV-C9 un ısı depolama kapasitesi	Q _{Tdepo}	27,38	kJ
	Çalışma esnasında oluşan fazla ısı ile mikrokapsüllerin şarj süresi	t _{çalışma}	2120,8	s

Dinlenme zamanı	Dinlenme esnasında birim zamanda vücudun ürettiği ısı	$\Delta Q_{dM}/\Delta t$	100	W
	Dinlenme esnasında birim zamanda nefesle atılan ısı	$\Delta Q_{dnefes}/\Delta t$	15	W
	Dinlenme esnasında birim zamanda ciltten atılması gereken ısı	$\Delta Q_{dcilt}/\Delta t$	85	W
	Birim zamanda giysilerin toplam ısı iletimi	$\Delta Q_{giysi}/\Delta t$	157,09	W
	Vücut sıcaklığını korumak için birim zamanda gerekli destek	$\Delta Q_{gerek}/\Delta t$	72,09	W
	Mikrokapsüllerin depoladığı toplam enerji	Q _{Tdepo}	27,38	kJ
	Toplam dinlenme zamanı	t _{dinlenme}	379,7	s

Çizelge 6.2 incelendiğinde, tasarlanacak bir giysi ile belirli çalışma ve dinlenme zamanlarında çalışan bir işçi için, sürekli bir konfor sağlamanın mümkün olduğu görülmektedir. %100 pamuklu kumaşa, kaplama malzemesi DLV/1 ile karıştırılarak kaplanan MCC16R1A4 mikrokapsülleriyle üretilmiş olan, DLV-C9 kumaşı kullanılarak bir işçi tulumu tasarlanmıştır (1,8 m² kumaş kullanılacağı öngörülmüştür). Tasarlanan tulum ile çalışma esnasında ortaya çıkacak fazla ısı mikrokapsüller tarafından 2120 saniye (35 dk.) süre ile depolanacak ve takip eden 380 saniyelik dinlenme süresi boyunca, mikrokapsüller depoladıkları ısıyı geri salarak, aşırı soğumayı (üşümeyi) engelleyecektir. Bu sayede işçi 30 dakika çalışıp, 5 dakika dinlenerek, sürekli çalışabilecek ve ısı konforu bozulmayacaktır.

6.2.2 Soğuk iklim koşulları için bir dağcı kıyafeti modellenmesi

Ağır kış koşullarında, dış ortamda çalışmak zorunda olan, bir dağcı için, bir tulum tasarlanması düşünülmüştür. Ortalama dış sıcaklığın -15°C olduğu kabul edilmiştir. Dağcı soğuk dış koşullarda belirli süreler yürüyüp, belirli zamanlarda dinlenecektir. Yürüme esnasında üretilen 150 W 'lık ısıнын bir kısmını depolayıp kalanını vücuttan uzaklaştıracak ve dinlenme zamanlarında metabolizma ısısı 100 W 'a düştüğünde ise üşümesini engelleyecek bir kıyafete ihtiyacı vardır.

Çizelge 6.3 : Model 2 : Soğuk iklimler için bir dağcı kıyafeti tasarımı

	Cilt alanı = giysi alanı	A	1,80	m^2
	Giysilerin toplam ısı direnci	R	0,82	$\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C W}^{-1}$
	Giysilerin toplam ısı iletim katsayısı	U	1,22	$\text{W m}^{-2}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
	Cilt sıcaklığı	T_{cilt}	33	$^{\circ}\text{C}$
	Dış ortam sıcaklığı	$T_{\text{dış}}$	-15	$^{\circ}\text{C}$
Çalışma zamanı	Çalışırken vücudun birim zamanda ürettiği ısı	$\Delta Q_M/\Delta t$	150	W
	Çalışırken nefes ile birim zamanda atılan ısı	$\Delta Q_{\text{nefes}}/\Delta t$	22,5	W
	Çalışırken vücuttan birim zamanda uzaklaşması gereken ısı miktarı	$\Delta Q_{\text{cilt}}/\Delta t$	127,5	W
	$Q_{\text{giysi}} = [U \times A \times (T_{\text{cilt}} - T_{\text{dış}})]$			
	Giysilerden ısı iletimi ile birim zamanda uzaklaşabilecek ısı miktarı	$\Delta Q_{\text{giysi}}/\Delta t$	105,41	W
	Birim zamanda uzaklaştırılamayan fazla ısı	$\Delta Q_{\text{kalan}}/\Delta t$	22,09	W
	Kumaş DLV-C9'un ısı depolama kapasitesi	Q_{depo}	15,21	kJ m^{-2}
	1,8 m2 DLV-C9 un ısı depolama kapasitesi	$Q_{T\text{depo}}$	27,38	kJ
	Çalışma esnasında oluşan fazla ısı ile mikrokapsüllerin şarj süresi	$t_{\text{çalışma}}$	1239,3	s
Dinlenme zamanı	Dinlenme esnasında birim zamanda vücudun ürettiği ısı	$\Delta Q_{dM}/\Delta t$	100	W
	Dinlenme esnasında birim zamanda nefesle atılan ısı	$\Delta Q_{d\text{nefes}}/\Delta t$	15	W
	Dinlenme esnasında birim zamanda ciltten atılması gereken ısı	$\Delta Q_{dcilt}/\Delta t$	85	
	Birim zamanda giysilerin toplam ısı iletimi	$\Delta Q_{\text{giysi}}/\Delta t$	105,41	W
	Vücut sıcaklığını korumak için birim zamanda gerekli destek	$\Delta Q_{\text{gerekli}}/\Delta t$	20,41	W
	Mikrokapsüllerin depoladığı toplam enerji	$Q_{T\text{depo}}$	27,38	kJ
	Toplam dinlenme zamanı	t_{dinlenme}	1341,5	s

Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi dış hava sıcaklığının -15°C olduğu koşullarda yürüyen bir insanın, yürüyüşü sürecince ihtiyacı olan giyinme ısı direnci $0,68\text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C W}^{-1}$ 'dir. Fakat aynı koşullarda dinlenmek için oturduğunda ihtiyaç duyacağı giyinme ısı direnci $1,02\text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C W}^{-1}$ 'dir. Bu modelde de laboratuvar ortamında üretilen DLV-C9 kumaşının bir ara katman olarak kullanıldığı ve giysilerin toplam ısı direncinin $0,82\text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C W}^{-1}$ olduğu, çok katmanlı bir giysi sistemi düşünülmüştür.

Çizelge 6.3 incelendiğinde tasarlanacak bir giysi ile belirli yürüme ve dinlenme zamanlarında sürekli bir konfor sağlamanın mümkün olduğu görülmektedir. DLV-C9 kumaşı kullanılarak (1,8 m² kumaş kullanılacağı öngörülmüştür) tasarlanan tulum ile yürüme esnasında ortaya çıkacak fazla ısı, mikrokapsüller tarafından 1239 saniye (20 dk.) süre ile depolanacak ve dinlenme için 1341 saniye (22 dk.) süre kazandıracaktır.

6.3 Öneriler

Tasarlanacak tekstil mamulünün son kullanım alanı çok önemlidir. Hangi koşullarda nasıl bir performans istendiği belirlendiğinde, elde edilen verilerden nasıl bir kumaşa ihtiyaç olduğu hesaplanabilecektir. Özel koşullar için özel kıyafetler tasarlanabilir. Öncelikle gerekli veriler, dış ortam sıcaklığı (veya sıcaklık aralığı) ve kullanıcının bu giysiyi kullanırken yapacağı bedensel aktiviteler ve bu aktivitelerin süreleridir. Daha sonra seçilecek bir ısı iletim katsayısı ile gerekli mikrokapsül miktarı belirlenebilir.

Burada denklemlerden anlaşılacağı üzere kullanım alanını genişletmek için ısı direnci düşürerek, mikrokapsül miktarını arttırmak gerekmektedir. Tabi mikrokapsüllerin giysiye ne kadar eklenebileceği de burada sınırı belirler.

Ayrıca üretilen mikrokapsüller ev tekstillerinde, otomotiv iç döşemelerinde de kullanılabilecektir. Örneğin gece ve gündüz sıcaklık farklarının çok yüksek olduğu çöl iklimlerinde gündüz sıcaklık depolayan ve gece depoladığı ısıyı geri salarak ısı dengeleme sağlayan perdeler tasarlanabilir. Elde edilen mikrokapsüller çok geniş uygulama alanı bulabilecek bir üründür.

Bu çalışmanın devamı olabilecek bir araştırmada:

- ❖ Elde edilen mikrokapsüller ile kaplanan kumaşların ısı iletkenlikleri ölçülmelidir.
- ❖ Elde edilen mikrokapsüller ile kaplanan kumaşların hava ve nem geçirgenlikleri ölçülmelidir.
- ❖ Kaplamanın, kumaş hava ve nem geçirgenliğine etkilerine göre, kaplama yönteminde geliştirmeler yapılabilir. Tamamen yüzeyi kaplayan bir baskı yerine, boşluklu/parçalı bir baskı düşünülebilir.
- ❖ Farklı bağlayıcılar ile kumaşa mikrokapsül baskı teknikleri araştırılabilir.

- ❖ Farklı FDM içeren mikrokapsüller karıştırılarak, daha geniş bir faz geçiş sıcaklık aralığı elde edilmesi araştırılabilir.
- ❖ Mikrokapsül ilave edilmiş kumaşların yıkama, sürtünme vb. haslıkları değerlendirilebilir.
- ❖ Bu çalışmada elde edilen kumaşlar, çok katmanlı bir kıyafette, ara katman olarak kullanılabilecek numunelerdir. Tek başına kullanılabilecek bir kumaş için farklı kaplama malzemeleri denenebilir.
- ❖ Farklı nihai ürün tasarımları (perde, otomotiv, ev tekstili, döşeme vs) için farklı oranlarda mikrokapsül kaplanmış kumaşlar modellenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Sarier N., Onder E., 2006. The manufacture of microencapsulated phase change materials, suitable for the design of thermally enhanced fabrics. *Thermochimica Acta*, Vol.452, p.149–160.
- [2] Onder, E., Sarier, N., Çimen, E., 2007. Encapsulation of phase change materials by complex coacervation, to improve thermal performances of woven fabrics. *Thermochimica Acta*, Vol.467, p.63-72.
- [3] Sarier, N., Onder, E., 2008. Thermal insulation capability of PEG-containing polyurethane foams. *Thermochimica Acta*, Vol. 475, Issue: 1-2, p. 15-21.
- [4] Sarier, N., Onder, E., 2007. Thermal characteristics of polyurethane foams incorporated with phase change materials. *Thermochimica Acta*, Vol. 454, Iss.2; p.90.
- [5] Nelson, G., 2002. Application of micro encapsulation in textiles. *Fluid Technologies Plc.*, Ashton House, No 1 The Parks, Logde Lane, Newton-Le-Willows, WA12 OJQ, UK.
- [6] Onder, E., 2007. *Clothing & Thermal Comfort* (29 Kasım, İTÜ sunum)
- [7] Sprenger, E., Höhn, W., 1983. *Taschen. H. u. Klim.* s.35, R. Olden. V. M. Wien .
- [8] Ihle, C., 1975. *Klimatechnik für heizungsbauer.* Band 4, 2.Auflage, p. 43, Werner- Vefrlag Düsseldorf .
- [9] ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*
- [10] Zubkova, N.S., 1995. Phase change technology outlasts lofted fabrics. *Tech. Text. Int.* 4 (7), p. 28–29.
- [11] Pause, B., 2000. Measuring the thermal barrier function of phase change materials in textiles. *Tech. Text Int.* 9 (3), p. 20–21.
- [12] <http://www.sono-tek.com>, alındığı tarih 26 Şubat 2010.
- [13] Yeo, Y., Park, K., 2004. A new microencapsulation method using an ultrasonic atomizer based on interfacial solvent exchange. *Journal of Controlled Release* 100, p. 379–388.
- [14] Rodrigues, S., Fernandes, I., Martins, I., Mata, V. G., Barreiro, F., Rodrigues, A. E., 2008. Microencapsulation of limonene for textile application. *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 47, No. 12.
- [15] Fischer, S., Hauer, A., 1998. Space heating and cooling with thermo chemical storage system in the district heat net of Munich. *Second Workshop of Annex 10*, Sofia, Bulgaria.
- [16] Hauer, A. 2001. Thermal energy storage with zeolite for heating and cooling application. *First workshop of Annex 17*, Benediktbeuern, Germany.

- [17] **Haussmann, T., Henning, H. M., Schossig, P.,** 2002. Phase change materials in wall integrated systems. *Second workshop of Annex 17*, Ljubljana, Slovenia.
- [18] **Setterwall, F.,** 2003. Phase-change materials and chemical reactions for thermal energy storage. *ASHRAE Department of Chemical Engineering, Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden.
- [19] **Yamaha, M.,** 2002. A PCM storage unit in an air distribution system for peak shifting. *Second workshop of Annex 17*, Ljubljana, Slovenia.
- [20] **Colvin, D.P., Bryant, G.Y.,** 1998. Protective clothing containing encapsulated phase change materials. *Advances in heat and mass transfer in biotechnology (HTD)*, New York. ASME, 362, p.123–132.
- [21] **Cox, R.,** 1998. Synopsis of the new thermal regulating fiber Outlast. *Chem. Fibers. Int.* 48, p. 475–479.
- [22] **Deveci, S. S., Basal, G.,** 2009. Preparation of PCM microcapsules by complex coacervation of silk fibroin and chitosan. *Colloid and polymer science*, Vol. 298, Iss.12, p.1455-1467.
- [23] **Sarı, A., Alkan, C., Karaipekli, A., Uzun, O.,** 2009. Microencapsulated n-octacosane as phase change material for thermal energy storage. *Elsevier Science Direct*, Solar Energy 83, p.1757–1763.
- [24] **Chang, C.C., Tsai, Y.L., Chiu, J.J., Chen, H.,** 2009. Preparation of phase change materials microcapsules by using PMMA network-silica hybrid shell via sol-gel process. *Wiley InterScience* DOI 10.1002 / app.29742
- [25] **Shin, Y., Yoo, D., Son, K.,** 2004. Development of thermoregulating textile materials with microencapsulated phase change materials (PCM), II. preparation and application of PCM microcapsules. *Wiley InterScience*, DOI 10.1002 / app.21438.
- [26] **Khudhair, A. M., Farid M. M.,** 2004. A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management* (0196-8904), Vol. 45, Iss.2, p. 263-275.
- [27] **www.Outlast.com** , alındığı tarih 25 Aralık 2009.
- [28] **Nicolaou, K. C., Montagnon, T.,** 2008. Molecules that changed the world. *Wiley-VCH*. pp. 11. ISBN 978-3-527-30983-2.
- [29] **Weast, R. C.,** (1981). *CRC Handbook of chemistry and physics*. 62nd ed., Boca Raton, FL: CRC Press, pp. C-301, E-61, ISBN 0-8493-0462-8 .
- [30] **Bayer Chemicals A.G.,** 2009.*Impranil® Product Datasheet*, Edition 2009-04-08
- [31] **Cech, P., Okrasa, L., Mechin, F., Boiteux, G., Ulanski, J.,** 2006. Investigation of polyurethane chain length influence on the molecular dynamics in networks crosslinked by hyper branched polyester. *Elsevier Science Direct* , Polymer, Vol. 47, p. 7207-7215.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Serdal Ceylan

Doğum Yeri ve Tarihi: Çanakkale 01/08/1973

Adres: Barbaros mah. Sarıçay cad. No:7/A Çanakkale

**Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği
(1991-1995)**

Lise: Eskişehir Anadolu Lisesi (1984 – 1991)