

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKROKAPSÜLLEME YÖNTEMİYLE DOKUMA  
KUMAŞLARA YENİ ÖZELLİKLER KATMA  
OLANAKLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Müh. Erhan ÇİMEN**

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

**Tez Danışmanı: Prof.Dr. Emel ÖNDER**

**HAZİRAN 2007**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİKROKAPSÜLLEME YÖNTEMİYLE DOKUMA  
KUMAŞLARA YENİ ÖZELLİKLER KATMA  
OLANAKLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Müh. Erhan ÇİMEN  
503031805**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Mayıs 2007  
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Emel ÖNDER  
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Fatma KALOĞLU  
Prof.Dr. Özcan ÖZDEMİR(U.Ü.)**

**HAZİRAN 2007**

## ÖNSÖZ

1930' lu yıllarda insanoğlunun hayatına giren mikrokapsüller tüm sektörlerde hızlı bir şekilde kullanılmaya başlanmış ve çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalardan ve başarılarından hareketle 1990' lardan itibaren mikrokapsüllerin tekstil uygulamaları ticari olarak başlamıştır.

Uzay araştırmalarıyla tekstille mikrokapsüllüleri birleştiren akıllı tekstil uygulamaları her geçen gün askeri uygulamalardan sivil günlük uygulamalara doğru kaymaktadır. Bu anlamda mikrokapsüllerle ısı yalıtımı ve ısı yönetimi sivil hayatta yerini almaya başlamış bu özelliklere sahip kışlık ürün tasarımları gündeme gelmiştir. Bu çalışmada bu bağlamda mikrokapsül, ısı yalıtımı ve kumaş tasarımı üzerine çalışılmıştır.

Tez konumun belirlenmesi ve yürütülmesi süresince desteğini, ilgisini, yardımını ve hoşgörüsünü esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Emel ÖNDER' e, çalışmam sırasındaki yardımlarından ve deney yapımı hakkında verdiği bilgilerden dolayı Yrd. Doç. Dr. Nihal SARIER' e, beni bugünlere getiren aileme ve bugüne kadar olan eğitimimde emeği olan tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2007

Erhan ÇİMEN

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                                                 | <b>v</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                               | <b>vi</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                               | <b>vii</b> |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                                              | <b>ix</b>  |
| <b>ÖZET</b>                                                                        | <b>x</b>   |
| <b>SUMMARY</b>                                                                     | <b>xi</b>  |
| <br>                                                                               |            |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                    | <b>1</b>   |
| 1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı                                                     | 1          |
| <br>                                                                               |            |
| <b>2. MİKROKAPSÜLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ</b>                                      | <b>4</b>   |
| 2.1. Mikrokapsüller                                                                | 4          |
| 2.1.1. Mikrokapsül Üretiminde Fiziksel Yöntemler                                   | 6          |
| 2.1.1.1. Sprey Kaplama                                                             | 6          |
| 2.1.1.2. Halka Jet                                                                 | 6          |
| 2.1.1.3. Eğirme Diski                                                              | 6          |
| 2.1.1.4. Sprey Soğutma                                                             | 7          |
| 2.1.1.5. Sprey Kurutma                                                             | 7          |
| 2.1.1.6. Sprey Sertleştirme                                                        | 7          |
| 2.2.2. Mikrokapsül Üretiminde Kimyasal Yöntemler                                   | 7          |
| 2.2.2.1. Koaservasyon                                                              | 7          |
| 2.2.2.2. Ara Yüz Polimerizasyonu                                                   | 9          |
| <br>                                                                               |            |
| <b>3. TEKSTİLDE MİKROKAPSÜL KULLANIMLARI ve TEKSTİL ÜRÜNÜNE KATILMA YÖNTEMLERİ</b> | <b>11</b>  |
| 3.1. Tekstillerde Mikrokapsüllerin Uygulama Alanları ve Amaçları                   | 11         |
| 3.1.2. Faz Değiştiren Malzeme İçeren Mikrokapsüllerin Tekstildeki Uygulamalar      | 11         |
| 3.1.1. Koku İçeren Mikrokapsüllerin Tekstildeki Uygulamaları ve Aromaterapi        | 17         |
| 3.1.3. Renk Değiştiren Malzeme İçeren Mikrokapsüllerin Tekstildeki Uygulamaları    | 19         |
| 3.1.4. Alev İtici Malzeme İçeren Mikrokapsüllerin Tekstildeki Uygulamaları         | 19         |
| 3.1.5. Diğer Malzemelerle Tekstilde Mikrokapsül Uygulamaları                       | 19         |
| 3.2. Mikrokapsüllerin Tekstil Ürününe Katılma Yöntemleri                           | 20         |
| 3.2.1. Mikrokapsüllü Lif Eğirme                                                    | 20         |
| 3.2.2. Mikrokapsüllü Kaplama                                                       | 20         |
| 3.2.2.1. Aktarma Silindiri ile Kaplama                                             | 21         |
| 3.2.2.2. Rakle ile Kaplama                                                         | 21         |
| 3.2.2.3. Gravür Kaplama                                                            | 24         |
| 3.2.2.4. Rotasyon Şablonuyla Kaplama                                               | 24         |

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.3. Mikrokapsüllü Spreyleme                                 | 24        |
| 3.2.4. Mikrokapsüllü Çektirme ve Fular Yöntemiyle Uygulamaları | 25        |
| <b>4. MATERYAL ve DENEYSEL ÇALIŞMA</b>                         | <b>26</b> |
| 4.1 Materyal                                                   | 26        |
| 4.1.1. Mikrokapsülleme için Kullanılacak Malzemeler            | 26        |
| 4.1.2. Kullanılacak FDM' in Seçimi                             | 26        |
| 4.1.3. Kullanılacak Kumaşın Özellikleri                        | 27        |
| 4.1.4. Kaplama maddesi                                         | 27        |
| 4.1.5. Fikse maddesi ve Katalizör                              | 28        |
| 4.1.6 Termal Ölçüm Cihazı                                      | 28        |
| 4.2. Deneysel Çalışma                                          | 29        |
| 4.2.1. Mikrokapsülleme Yöntemi                                 | 30        |
| 4.2.2. Kumaşların Mikrokapsüller ile Kaplanması                | 30        |
| 4.2.2.1. Kaplama Reçetesi                                      | 30        |
| 4.2.2.2. Mikrokapsüllerin Kumaşlara Uygulanması                | 31        |
| 4.2.3. Malzeme Karakterizasyonuna Yönelik Ölçümler             | 32        |
| 4.2.3.1. Termal Ölçümler                                       | 32        |
| 4.2.3.2. Optik Ölçümler                                        | 33        |
| <b>5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME</b>                            | <b>34</b> |
| 5.1. Mikrokapsüllerin Termal Özellikleri                       | 34        |
| 5.1.1. Saf FDM'lerin DSC Analizleri                            | 34        |
| 5.1.2. Üretilen Mikrokapsüllerin DSC Analizleri                | 34        |
| 5.1.3. Üretilen Mikrokapsüllerin Isınma Grafikleri             | 36        |
| 5.1.4. Kaplanan Kumaşların Isınma Grafikleri                   | 46        |
| 5.2. Optik Sonuçlar                                            | 55        |
| 5.3. Genel Değerlendirme                                       | 56        |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                               | <b>59</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                | <b>62</b> |

## **KISALTMALAR**

|             |                                           |
|-------------|-------------------------------------------|
| <b>FDM</b>  | :Faz Değiştiren Malzemeler                |
| <b>NASA</b> | :Amerikan Ulusal Havacılık veUzay Dairesi |
| <b>PEG</b>  | :Polietilenglikol                         |
| <b>PET</b>  | :Poliester                                |
| <b>PTMG</b> | :Politetrametilenglikol                   |
| <b>PVC</b>  | :Polivinilklorür                          |
| <b>ViS</b>  | :Viskon                                   |
| <b>DSC</b>  | :Diferansiyel Taramalı Kalorimetre        |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                 | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Tablo 3.1.</b> Bazı FDM'nin Termal Özellikleri.....                          | 14                     |
| <b>Tablo 3.2.</b> Faydalı Yağların İlaçsal Etkileri .....                       | 18                     |
| <b>Tablo 3.2.</b> Faydalı Yağların Duyguları Yatıştırıcı Etkileri.....          | 19                     |
| <b>Tablo 4.1.</b> Mikrokapsülleme için Kullanılan Malzemelerin Özellikleri..... | 26                     |
| <b>Tablo 4.2.</b> Kullanılan Hidrokarbonların Özellikleri.....                  | 27                     |
| <b>Tablo 4.3.</b> Kullanılan Kumaşın Özellikleri.....                           | 27                     |
| <b>Tablo 4.4.</b> Üretilen Koaservatların İsimlendirilmesi ve İçerikleri.....   | 30                     |
| <b>Tablo 4.5.</b> Kaplama Malzemesi İsimlendirilmesi.....                       | 31                     |
| <b>Tablo 5.1</b> Kullanılan FDM'lerin DSC Sonuçları.....                        | 34                     |
| <b>Tablo 5.2</b> Koaservatların DSC Sonuçları.....                              | 35                     |
| <b>Tablo 5.3</b> Kaplanan Malzeme Oranı.....                                    | 46                     |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                            | <u>Sayfa No</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1 : Mikro Kapsül Yapısı.....                                                                                       | 5               |
| Şekil 2.2 : Halka Jet Sistemi.....                                                                                         | 6               |
| Şekil 3.1. : FDM İçeren Mikrokapsüllerin Çalışma Şekli.....                                                                | 15              |
| Şekil 3.2 : Aktarma Silindiriyle Kaplama Yöntemi (b) Sıyırma Rakleli (c) Sıyırma Silindirli.....                           | 22              |
| Şekil 3.3 : Kaplama Teknikleri (a) Havada (b) Masa Üzerinde (c) Silindir Üstünde (d) Blanket Üstünde Rakle Sistemleri..... | 23              |
| Şekil 3.4 : Rakle Profilleri (a) Sivri Uçlu Rakle (b) Yuvarlak Ağızlı Rakle (c) Pabuç Ağızlı Rakle .....                   | 23              |
| Şekil 4.1 : Ölçüm Düzeneği.....                                                                                            | 28              |
| Şekil 4.2 : Deney Düzeneği.....                                                                                            | 29              |
| Şekil 4.3 : Isıl ÖlçümDüzeneği.....                                                                                        | 32              |
| Şekil 5.1 : Koaservat 4 (%40 n-hekzadekan) Isınma Grafiği .....                                                            | 36              |
| Şekil 5.3 : Koaservat 5 (%60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği .....                                                            | 37              |
| Şekil 5.4 : Koaservat 6 (%80 n-hekzadekan) Isınma Grafiği .....                                                            | 38              |
| Şekil 5.5 : Koaservat 6 (%80 n-hekzadekan)Öz Isı Değerleri .....                                                           | 38              |
| Şekil 5.6 : Koaservat 8 (%60 n-oktadekan) Isınma Grafiği .....                                                             | 39              |
| Şekil 5.7 : Koaservat 9 (%80 n-oktadekan)Isınma Grafiği .....                                                              | 40              |
| Şekil 5.8 : Koaservat 11 (%60 n-nonadekan) Isınma Grafiği.....                                                             | 40              |
| Şekil 5.9 : Koaservat 11(%60 n-nonadekan) Öz Isı Değerleri .....                                                           | 41              |
| Şekil 5.10 : Koaservat 13 (%60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği.....                                                           | 42              |
| Şekil 5.11 : Koaservat 13 (%60 n-hekzadekan) Öz Isı Değerleri Grafiği.....                                                 | 42              |
| Şekil 5.12 : Koaservat 15 (%60 n-eykosan) Isınma Grafiği .....                                                             | 43              |
| Şekil 5.13 : Koaservat 15 (%60 n-eykosan) Öz Isı Değerleri.....                                                            | 43              |
| Şekil 5.14 : Koaservat 16 (%60 n-hekzadekan)Isınma Grafiği.....                                                            | 44              |
| Şekil 5.15 : Koaservat 16 (%60 n-hekzadekan) Öz Isı Değerleri.....                                                         | 44              |
| Şekil 5.16 : Koaservat 17 (%60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği .....                                                          | 45              |
| Şekil 5.17 : Koaservat 17 (%60 n-hekzadekan) Öz Isı Değerleri.....                                                         | 45              |
| Şekil 5.18 : CO1KAO13D1 (oran 1:1 %60 n-hekzadekan)Isınma Grafiği....                                                      | 47              |
| Şekil 5.19 : CO1KAO13D1 (oran 1:1 %60 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı.....                                                      | 47              |
| Şekil 5.20 : CO2KAO13D2 (oran 1:1.5 %60 n-hekzadekan)Isınma Grafiği..                                                      | 48              |
| Şekil 5.21 : CO2KAO13D2 (oran 1:1.5 %60 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı....                                                     | 48              |
| Şekil 5.22 : CO3KAO11D1 (oran 1:1 %60 n-nonadekan) Isınma Grafiği ...                                                      | 49              |
| Şekil 5.23 : CO3KAO11D1 (oran 1:1 %60 n-nonadekan) Öz Isı Oranı.....                                                       | 49              |
| Şekil 5.24 : CO4KAO8D1 (oran 1:1 %60 n-oktadekan) Isınma Grafiği.....                                                      | 50              |

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.25</b> : CO4KAO8D1 (oran 1:1 %60 n-oktadekan) Öz Isı Oranı.....                            | 50 |
| <b>Şekil 5.26</b> : CO5KAO17D1 (oran 1:1 %60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği...                          | 51 |
| <b>Şekil 5.27</b> : CO5KAO17D1 (oran 1:1 %60 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı .....                         | 51 |
| <b>Şekil 5.28</b> : CO6KAO6D1 (oran 1:1 %80 n-hekzadekan) Isınma Grafiği .....                        | 52 |
| <b>Şekil 5.29</b> : CO6KAO6D1 (oran 1:1 %80 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı.....                           | 52 |
| <b>Şekil 5.30</b> : CO7KAO16D1 (oran 1:1 %80 n-hekzadekan) Isınma Grafiği...                          | 53 |
| <b>Şekil 5.31</b> : CO7KAO16D1 (oran 1:1 %80 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı .....                         | 53 |
| <b>Şekil 5.32</b> : CO8KAO15D1 (oran 1:1 %60 n-eykosan) Isınma Grafiği .....                          | 54 |
| <b>Şekil 5.33</b> : CO8KAO15D1 (oran 1:1 %60 n-eykosan) Öz Isı Oranı.....                             | 54 |
| <b>Şekil 5.34</b> : Koaservat 6 (%60 n-hekzadekan) Mikroskop Görüntüsü<br>(büyütme oranı 10*100)..... | 55 |
| <b>Şekil 5.35</b> : Koaservat 11 (%60 n-nonadekan) Mikroskop Görüntüsü<br>(büyütme oranı 10*40).....  | 55 |
| <b>Şekil 5.36</b> : Kontrol Grubu Koaservat Mikroskop Görüntüsü (büyütme<br>oranı 10*40).....         | 56 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                              |                  |
|------------------------------|------------------|
| <b>C</b>                     | :Öz ısı          |
| <b>Q</b>                     | : Isı Enerjisi   |
| <b>H</b>                     | : Entalpi        |
| <b>T</b>                     | : Sıcaklık       |
| <b><math>\Delta T</math></b> | : Sıcaklık farkı |

# **MİKROKAPSÜLLEME YÖNTEMİYLE DOKUMA KUMAŞLARA YENİ ÖZELLİKLER KATMA OLANAKLARI**

## **ÖZET**

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde tekstil sektörünün dünya ve Türkiye’deki durumu, sektörün gelişim eğilimleri hakkında bilgi verilerek çalışmanın genel kapsamı ve amacı açıklanmıştır.

Bölüm 2’de mikrokapsülün tarihçesi kısaca anlatılarak mikrokapsülün tanımı ve mikrokapsüllerden beklenen özellikler anlatılmıştır. Mikrokapsüllerin üretiminde kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemlerin uygulama alanları ve üretim yöntemleri anlatılarak yöntemlerin avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Bölüm 3’te mikrokapsüllerin tekstil ürünlerinde kullanım amaçları belirtilmiştir. Bu kullanım amaçlarından ısı yönetiminde kullanılan faz değiştiren malzemelerin tanımı yapılarak ısı yönetimi açısından önemi anlatılmıştır. Tekstil sektöründe kullanılabilecek faz değiştiren malzemelerin ısı özellikleri tablolar halinde verilerek bu malzemelerin özellikleri anlatılmıştır. Faz değiştiren malzeme içeren farklı üretim yöntemleriyle oluşturulan mikrokapsüllerin tekstil ürünlerindeki kullanımları ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Koku ve faydalı yağ içeren mikrokapsüllerin tekstil uygulamaları ile ilgili ilk olarak aromaterapinin tanımı ve önemi belirtilmiştir. Bu alanda kullanılan çeşitli yağların fiziksel ve zihinsel etkileri tablolar halinde verilmiştir. Mikrokapsüllerin diğer tekstil uygulamaları hakkında genel bilgi verilmiştir.

Bu bölümde ayrıca mikrokapsüllerin tekstil ürünlerine katılma aşamaları ve katılma biçimleri hakkında bilgi verilerek ticari olarak kullanılan bazı ürünlerin uygulama prosesi verilmiştir.

Bölüm 4’te konu dahilinde deneysel çalışmada kullanılacak malzemelerden mikrokapsül üretiminde kullanılacak hammaddelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, makina ve sistemlerin çalışma prensipleri anlatılmıştır. Mikrokapsüllerin uygulanacağı kumaş özellikleri verilerek bu aşamada kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri belirtilmiştir. Üretilen mikrokapsüllerin ve kaplanmış kumaşların karakterlerini belirlemeye yönelik yapılacak ölçümlerde kullanılan cihazların özellikleri belirtilerek bu sistemlerin çalışma prensipleri anlatılmıştır.

Bölüm 5’te ilk olarak üretilen mikrokapsüller için yapılan termal ölçümler analiz edilerek yöntemin başarısı değerlendirilmiştir. Kumaş uygulamalarının termal özellikleri, mikrokapsül ile kaplanmamış kumaşların ki ile teker teker kıyaslanarak kumaşların termal özelliklerindeki değişim belirlenmiştir. Mikrokapsüllerin optik görüntüleri ile faz değiştiren malzeme içeren mikrokapsüller ile boş mikrokapsüller kıyaslanmıştır. Genel değerlendirme bölümünde çalışmada üretilen mikrokapsüller ve mikrokapsüller ile kaplanmış kumaşların termal performansları değerlendirilerek daha önceki çalışmalar ile kıyaslanmıştır.

## **POSSIBILITIES OF BRING IN NEW PROPERTIES TO WOVEN FABRICS BY MICROENCAPSULATION METHOD**

### **SUMMARY**

This study is composed of five main parts. In the first part, information about situation of textile industry in world and in Turkey is given. The general content and the aim of the study is explained by the tendency of developments in textile field.

In Section 2, general information is given about microencapsulation history and expected features of microcapsules. Physical and chemical production methods of microcapsules explained widely by processes, application fields and advantage and disadvantages of each method.

Section 3, the aim of using microencapsulation method for textiles is pointed. Phase change materials which are used in thermal performance increaser microcapsules is described and their importance is mentioned. Thermal properties of phase change materials which can be used in textile industry is given by tables and other properties are explained. Researches about microcapsules containing phase change material which are produced different methods, and their applications on textile products are given. Textile applications of microcapsule containing essential oils explained by firstly aromateraphy then the physical and mental effects of essential oils. Other applications of microcapsules containing other materials in textile industry is explained.

Moreover adding ways of microcapsules to textiles in fiber, fabric or garment form is explained and some commercial applications are given in this section.

Section 4 gives the physical and chemical information about materials used in experiments for producing microcapsules also machines and systems are explained which are used. Properties of fabric which microcapsules treated is given and physical and chemical information about materials used in this part is given. Machines and systems which are used for determining properties of microcapsules and fabric treated are explained.

Section 5 firstly discuss the success of the method by the thermal analyses of produced microcapsules. Thermal analyses of fabrics treated by microcapsules are compared with the fabric untreated so change of thermal properties are determined. Optical analyses gives the differences between microcapsules with phase change material and empty microcapsules. In general discussion part produced microcapsules and treated fabrics thermal performances are estimated and compared with other researches.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Tekstil ürünlerinin tarihi insanlık tarihi ile aynı zamanlarda başlamaktadır. İlk tekstil ürünleri hayvan postlarıyla oluşturulmuş ve bu şekilde çevre şartlarından korunma ve örtünme sağlanmıştır. İnsanın gelişimiyle liflerden iplik, ipliklerden kumaş ve kumaşlardan giysi üretimi de gelişmeye başlamıştır.

Bu gelişim içerisinde ilk olarak sanayi devrimiyle beraber her sektörde olduğu gibi seri üretime yönelik tekstil makinelerinde ciddi gelişmeler gerçekleşmiştir. Gelişen bu teknoloji ile beraber tekstil ürünlerinden beklenen özellikler kazandırılmaya çalışılmıştır.

Tekstil ürünlerinden beklenen özelliklerin sürekli değişmesi ve artmasıyla sadece doğal ürünlerle bu ihtiyacın karşılanamayacağı fark edilerek yeni hammadde arayışları başlamıştır. Bu arayışlarda rejenere ve sentetik liflerin üretimi gündeme gelmiş farklı performans ihtiyaçları için sürekli yeni lifler veya karışımları kullanılmıştır.

Tekstil ürünleri sadece giyim eşyası olarak değil ev tekstil ürünleri, endüstriyel kullanımlar gibi alanlarda da yerini almış ve ciddi ihtiyaçları karşılamıştır. Bu anlamda tekstil ürünlerinden beklenen özelliklerde farklılıklar ortaya çıkarmıştır.

Bu isteklerin tetiklediği araştırmalarla oluşturulan ürünler artık diğer tekstil ürünlerinden farklı olarak akıllı tekstiller veya teknik tekstiller olarak adlandırılmaya başlanmıştır. Akıllı tekstiller değişen çevresel etkileri algılayabilen ve yanıtlayabilen, belli bir koşulu sağlamaya yönelik olarak otomatik değişim özellikleri olan malzemelerdir. Bu bakımdan teknik tekstiller; endüstride, uzay sanayisinde, askeri alanda, denizcilikte, tıpta, inşaatta, jeotekstillerde, ulaşımda ve yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılan fonksiyonellik gerektiren tekstil ürünleridir.

Teknik tekstillerin tüm tekstil üretimdeki payı her geçen gün artmaktadır ve artacağı da öngörülmektedir. Tekstil içerisinde gelişen bu sektörün maliyetler olarak değerlendirildiğinde ar-ge ve teknoloji bileşeninin yüksek işçilik bileşeninin düşük

olduğu görülmektedir. Teknik tekstil ürünlerin üretiminde çalışan bir kişi ürettiği değer normal bir tekstil işçisinin ürettiği değer iki katına kadar çıkmaktadır [13].

Türk tekstil sektörünün özellikle 1985' ler de başlayıp 90'lı yılların sonuna kadar ucuz maliyet gücüyle dünya tekstil sektöründe önemli bir yer almıştır. 2000' li yıllarla beraber değişen dünya piyasa koşullarında özellikle Uzakdoğu ve bazı Asya ülkelerinin tekstil sektöründe aldığı roller ile Türk tekstil sektörü önüne ciddi rakipler olarak çıkmıştır.

Tekstil sektörünün genel anlamda az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kurulu, değişim hızı yüksek ve rekabete açık bir sektör olduğu bilinen bir gerçektir. Düşük yatırım maliyeti, ucuz iş gücüyle hızlı bir şekilde oluşturulan sanayi ile ciddi bir büyüme sağlanır. Bu anlamda Türkiye'nin tekstildeki kitle üretim gücünü kaybedeceği bilinen bir gerçektir. Diğer Avrupa ülkelerinde yaşanan bu olay Türkiye' nin önünde ki gerçektir. Bu gerçeklik karşısında tekstil sektöründe ki birikimin nasıl değerlendirilmesi gerektiği önem kazanmaktadır. Fransa ve İtalya tekstil sektöründe moda konusunda kısmen makine konusunda, Almanya makine imalatı konusunda hala söz sahibidir. Türkiye ise bu gelişimlere özellikle markalaşma konusunda yaptığı yatırımlar ile karşı koymayı hedefleyen bir politika izlemektedir.

Üzerinde çalışılması ve tekstil sektörü için bir gelişim politikası olarak düşünülmesi gereken diğer bir konuda günümüzde ve gelecekte beklenen tüketim hacmi ile ve kazandırdığı katma değer ile teknik tekstillerdir. Teknik tekstiller her geçen gün hayatımıza daha çok girmekte ve insanların beklentilerinin karşılanma yolu olarak sadece tekstil değil diğer sektörlerdeki kullanımı da artmaktadır.

Özellikle askeri alanda teknik tekstil kullanımı artmaktadır. Bu ürünler ağırlıklı olarak konvansiyonel ürünlere yeni özellikler katılmasıyla üretilir. Isı yalıtımı yüksek askeri kıyafetler ve çadırlar, ultra viyole ışıkları emen giysiler gibi örnekler askeri araştırmaların konularındandır. Bu özellikler için farklı maddelerin tekstil ürünleriyle bir arada kullanılması gerekir ki bu noktada mikrokapsülleme yöntemi konuya dahil olmaktadır.

Mikrokapsüller 1930'lu yıllarda başlayarak öncelikli olarak ilaç ve matbaa sektöründe kullanılarak insan hayatına girmiştir. Daha sonraki yıllarda hızla gelişen yeni yöntemler ve uygulama alanlarıyla ilaç ve yiyecek sektörünün vazgeçilmez

ögesi haline gelmiştir. Mikrokapsüller 1960' lı yıllarda uzay projeleri kapsamında tekstil ürünleriyle birlikte düşünölmeye başlamıştır; fakat ilk ticari uygulamaları 1990'ların sonuna rastlamaktadır. Özellikle akıllı tekstil ürünleri üretiminde kullanılan mikrokapsöl teknolojisi çoğu yönüyle ölkemizde yeni bir sektördür ve dünya piyasasında da hızla gelişmekte olan bir sektördür.

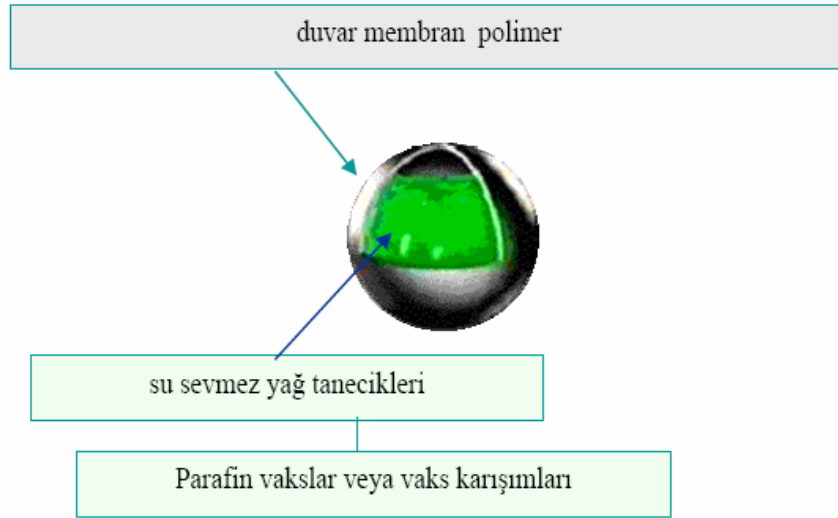
Tüm bu noktalardan bakıldığında mikrokapsöl teknolojisiyle konvansiyonel tekstil ürünlerine yeni özellikler katmak, tekstil sektörünün geleceğinin rotasında bulunmaktadır. Bu amaçla bu araştırmada mikrokapsöl oluşumu ve bu kapsüllerin kumaşlara katılma olanakları ve kazandırabileceğı özellikler hakkında literatür araştırması ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

## **2. MİKROKAPSÜLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ**

### **2.1. Mikrokapsüller**

Mikrokapsülleme yaşayan hücrenin yaratılmasıyla başlamıştır [3]. Mikrokapsülleme bir katı partikülün, sıvı damlasının veya gaz kabarcığının bir film tabaka oluşturacak maddeyle ufak parçacıklar şeklinde kaplanmasıdır [1]. Mikrokapsülleme, iç malzemenin kaplanıp iyi muhafaza edilerek çevreden korunmasını sağlayan özel bir paketleme şeklidir. İçteki malzemenin kısa süreli etkili olması durumunda mikrokapsül büyük önem taşır [6]. Tarihsel olarak mikrokapsülleme çalışmaları 1930'ların sonunda Dayton, Ohio'da bir laboratuvar da Baret Green adlı kimyacının çalışmalarıyla başlamıştır [3]. Mikrokapsülleme teknikleri gıda, ilaç ve matbaa sektöründe kullanılmaya başlanarak geliştirilmiştir [18].

Mikrokapsüller, kapsül çapı, kabuk inceliği, ısı iletimi ve esnekliği gibi parametrelerle tanımlanabilir. Kabuk duvarının inceliği 1 mikrondan daha az olabilir. Elde edilen yöntemle göre çapları ortalama 20-40 mikron arası değişir [26]. Faz değiştiren malzemelerin (FDM) hacimsel değişimlerine tolerans gösterir [27]. Çoğu tekstil uygulamalarında her biri yaklaşık 3-8 mikron çapındaki kapsüller, 1cm<sup>2</sup>'de 1 milyon adet bulunacak şekilde maksimum konsantrasyonda uygulanırlar [25]. Şekil 2.1'de mikrokapsülün yapısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.1:** Mikro kapsül Yapısı [25].

Mikrokapsül malzemesinden beklenen özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Öz malzemeyi dış çevrenin etkilerinden korur. (örneğin oksidasyonu önler.)
- Öz malzemenin dış çevreye buharlaşma veya difüzyon hızını düşürür.

Öz malzemenin bırakılması kapsül cinsine göre değişse de aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Mekanik bir güç etkisiyle kapsül duvarının kırılması
- Bir çözücüyle kapsül duvarının çözülerek öz malzemenin serbest kalması
- Sıcaklık etkisiyle kapsül duvarının erimesi
- Öz malzemenin düşük hızda difüzyonu [2].

Bununla beraber mikrokapsül vasıtasıyla öz malzemenin korunması ve saklanması sağlanır [19].

Katı ve sıvılar için çok küçük boyutlarda paketlenen mikrokapsül teknolojisi hazır giyim sektörü için yeni fırsatlar oluşturmaktadır [24]. Mikrokapsülleme, rekabette öncülüğü korumak isteyen tekstil ve giysi üreticileri için, önemli bir teknolojik gelişmedir [25].

Genel olarak mikrokapsülleme yöntemi fiziksel ve kimyasal kapsülleme olarak ikiye ayrılır [2].

### 2.1.1. Mikrokapsül Üretiminde Fiziksel Yöntemler

Fiziksel yöntemler ile kapsül boyutu olarak kimyasal yönteme göre daha büyük kapsüller oluşturur [18]. Fiziksel yöntemler altı başlık altında toplanabilir.

#### 2.1.1.1. Sprey Kaplama

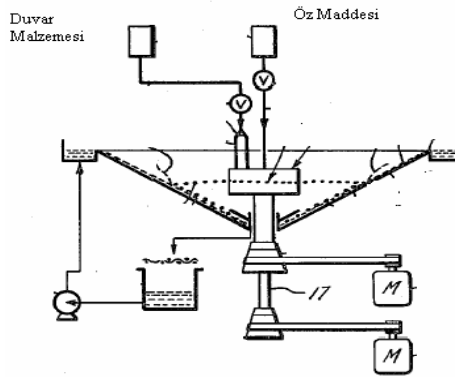
Sprey kaplama yöntemi genel olarak iki başlık altında incelenebilir.

1. Tava Kaplama: 19. yy. Upjohn adlı eczacı tarafından patenti alınan bu yöntemle büyük öz malzemeler ile kaplanmış tabletler elde edilir [2].
2. Sıvı Yatak Kaplama: Altta pozisyonlanan spreyleme düsesiyle kapsül duvar malzemesi öz malzemenin sıvılaştırılmış yatağına püskürtülür [2].

Sprey kaplama yönteminde mikrokapsül üretiminde kontrolün zor olmasına karşı düşük maliyeti ve yüksek üretim miktarı ile avantaj sağlamaktadır [28].

#### 2.1.1.2. Halka Jet

Eş merkezli iki jetin kullanıldığı bu sistemde iç teki jet öz malzemeyi dıştaki jet kapsül eriyik haldeki kapsül malzemesini püskürtür. Püskürtülen kapsül duvar malzemesi katılarak suyun jetle püskürtülmesiyle oluşacak damlacıklar boyutunda kapsüller oluşturur [2]. Halka jet sistemi Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Halka Jet Sistemi [15]

#### 2.1.1.3. Eğirme Diski

Bu yöntemde kapsül malzemesi ve öz malzeme eş zamanlı eğirme diskinden damla formunda ayrılır. Diskin altından toplanan malzemelerden kapsüller boyutlama yöntemiyle ayrılır [2].

#### **2.1.1.4. Sprey Soğutma**

Sprey soğutma sisteminde düşük üretim miktarı dezavantajına karşı çözücü kullanılmaması bir avantajdır [28]. Eriyik haldeki kapsül malzemesinin içinde bulunan çok küçük boyuttaki öz malzemesi spreylemeyle soğutulan kapsül malzemesiyle kaplanır [2].

#### **2.1.1.5. Sprey Kurutma**

1927 başlarında A. Bolk Roberts tarafından sakız ile yağı spreylemeyle kaplanmış ve daha sonraki yıllarda bu alanda büyük gelişmeler yaşanmıştır [3]. Sprey kurutma yöntemi çok yönlü ve uygulama olarak çok kolaydır fakat yüksek hammadde ve işletim maliyeti, yüksek sıcaklık ve çözücü kullanımı gibi dezavantajları vardır [28].

#### **2.1.1.6. Sprey Sertleştirme**

Toz halindeki öz malzeme etrafında spreyleme ile sertleştirilen kapsül malzemesiyle oluşturulur. Oluşan malzemeler spreyleme altındaki ters akımla toplanır [2].

### **2.1.2. Mikrokapsül Üretiminde Kimyasal Yöntemler**

Kimyasal yöntemin fiziksel yöntemle göre avantajı daha küçük ve akışkan öz malzemeleri kapsülleyebilmesidir [2].

#### **2.1.2.1. Koaservasyon**

Bu metodu anlatmadan önce hidrofilik kolloitleri açıklamak gerekir. Hidrofilik kolloitler suda çözünebilir veya yayılabilir büyük moleküllerdir. Koaservasyon da kullanılan kolloitler suda halat halkası gibi dururlar ve kimyasal yapılarında bulunan iyonlaşabilir grup sayesinde çevresindeki ortamla iyon alışverişi yapabilirler. Bu iyonlaşmaya göre pozitif yüklü kolloitler katyon kolloit, negatif yüklü kolloitler anyon kolloit olarak adlandırılır. Kolloidin yükü, ortam koşullarına (pH, sıcaklık vb.) göre değişir ve bu kolloidin çözünürlüğünü etkiler [3]. Değişen çözünürlükle amorf yapıda ortama yayılmış damlacıklar oluşur [4]. Koaservasyon yöntemi ilk olarak Bungenberg de Jong ve Kruyt tarafından 1929 yılında keşfedilmiş ve iki sisteme ayrılmıştır [18].

Koaservasyon metodu basit ve kompleks olarak ikiye ayrılır [3].

A Basit Koaservasyon: Bu yöntemde; suda çözünebilen bir polimer veya solvent olmayan bir çözelti (örneğin jelatin) kullanılabilir [4]. Proteinler katı ve sıvı öz malzemeler etrafında suda çözünmeyen duvar oluşumunda kullanılan en yaygın maddedir [20]. Tipik bir basit koaservasyon aşağıdaki formülle sağlanabilir;

1. %10'luk protein çözeltisi (suda) hazırlanır.
2. 40<sup>0</sup> C' de öz malzeme karıştırarak ilave edilir.
3. Son hacime göre %50-%60 oranında %20 sodyum sülfat veya etanol koaservasyonu başlatmak için eklenir.
4. Çözeltideki çözünmez hale getirip ayırabilmek için sertleştirici olarak glutraldehit eklenir ve pH ayarlanır.
5. Oluşan kapsüller yıkanır, kurulanır ve toplanır [4].

B Kompleks Koaservasyon: Bu yöntemde zıt yüklü iki hidrofilik koloit kullanılır; bu alanda en çok kullanılan ikili polisakkaritler ve proteinlerdir [4]. Kompleks koaservasyonda öz malzeme duvar malzemeleri içeren çözeltide dispersiyon oluşturulacak özelliktedir [21]. Bu sistemde önemli nokta, sistemin pH'ının iki koloidin zıt yüklü olacağı pH aralığında olmasıdır [4]. Polimerce zengin duvar oluşumu pH değişimiyle sağlanır [21]. Tipik bir kompleks koaservasyon aşağıdaki yöntemle gerçekleştirilir.

1. Ağırlıkça en fazla %3'lük polisakkarit ve protein çözeltisi hazırlanır.
2. İçinde öz malzemesi bulunmayan çözelti diğer çözeltiye (öz malzemesini içeren) proteinin çözünme sıcaklığı noktasının üstünde 35<sup>0</sup> C' de eklenir.
3. pH değeri, iki koloidin zıt yüklü olacağı 3.8-4.3 aralığına getirilir. Tüm süreç boyunca karıştırma sürdürülür.
4. Sistem 5<sup>0</sup> C' ye soğutulur ve sertleştirici bir maddeyle (glutraldehit) ve pH ayarıyla çözünmez hale getirilir.
5. Mikrokapsüller yıkanır, kurutulur ve toplanır [4].

Bu reçetelerde koaservasyonun etkinliğini artırmak için yüzey aktifleştirici malzemeler kullanılır. Yüzey aktifleştirici maddelerin derişimlerinin değişimiyle kapsüllenme oranı %35 ile %70 arasında olabilmektedir. Yüzey aktifleştirici

eklenmesiyle, kapsül oluşumu şu şekilde gerçekleşir; öz malzeme etrafını ilk polimer ve yüzey aktifleştirici sarar, çözünmeyen ve aktif yüzeye sahip bu yapıya ikinci polimer katılarak kapsül oluşumu tamamlanır [19].

Kompleks koaservasyon yöntemi pahalı bir teknik olmasına karşı ilaç, gıda ve matbaacılık sektörlerinde kullanılmaktadır [21]. Bu yöntem kullanılırken öz malzeme cinsine göre ve polimerlerin bir birine göre yük durumu iyi incelenip seçilmelidir. Genellikle yavaş ilerleyen prosesler koaservasyon yönteminde daha iyi sonuç vermektedir [4]. Koaservasyon yöntemi çok yönlü kullanımı ve kapsül malzemelerinin doğallıyla avantaj sağlarken kullanılan çözücüler ve sertleştiriciler çevre açısından bu yöntemin dezavantajlarıdır [28].

#### **2.1.2.2. Ara Yüz Polimerizasyonu**

1959 yılında Dupont araştırmacılarının ara yüz polimerizasyonu ile hazırladıkları naylon film tabakası araştırmaları, bu tekniği mikrokapsül üretiminde kullanmaya teşvik etmiştir. Bu yöntemde sıvı veya katı haldeki öz malzemesi kapsüllenebilir [3].

Ara yüz polimerizasyonu ile ince ve yüksek molekül ağırlığına sahip kapsül duvarı oluşturulur. Bu yöntemle ara yüzde tepkimeye giren iki monomer öz malzemeyi içlerine alarak ortamda çözünmeyen bir polimeri ve mikrokapsülü oluştururlar [3]. Monomerlerin reaktif gruplarının adım adım tepkimesiyle polimerleşme gerçekleşir[17]. Örneğin asit klorürün organik çözeltisi ve diaminin sudaki çözeltisi iki sıvı arasındaki yüzeyde bir film tabakası oluşturur. Mikrokapsül üretimi, çözeltilerden birinin damlacıklarının diğerine eklenmesiyle veya çözeltileri birbiri içinde karıştırılmasıyla sağlanır [3].

Daha uzun ve dayanıklı bir mikrokapsül ömrü için ara yüz polimerizasyonu ağırlıklı olarak seçilir [7]. Polimer mikrokapsüller kolay üretim teknikleri ile hidrofobik öz malzemelerin taşınmasında verimlidir [22].

Kapsül duvarını oluşturacak monomerler; poliamid, poliester, poliüretan, poliüre gibi malzemeler olabilir [17]. Kapsül oluşumunu sağlayacak polimer seçiminde dikkat edilecek tasarım unsurları şöyle sıralanabilir; polimerler kolay kapsül oluşturmali, çok miktarda malzemeyi kapsüllemeli, kapsüllemeden sonra stabil kalmalı, öz malzeme ile reaksiyona girmemeli ve çevreyle dost olmalıdır [22].

National Lead Co. Firmasının uygulamasında tuluen içerisindeki öz malzemesi ve ziegler tipi katalizör içine etilen gazı kabarcıklar halinde gönderilip öz malzeme etrafında polimerleşerek kapsül oluşumu sağlanmaktadır [3].

### **3. TEKSTİLDE MİKROKAPSÜL KULLANIMLARI ve TEKSTİL ÜRÜNÜNE KATILMA YÖNTEMLERİ**

#### **3.1. Tekstillerde Mikrokapsüllerin Uygulama Alanları ve Amaçları**

Mikrokapsül alanındaki çalışmalar eski olsa da tekstil sektöründe uygulamaları 1990'larda başlamaktadır. Tekstil alanında uygulamalar günümüzde özellikle tuşe ve kalıcı kokular üzerine yoğunlaşmış ayrıca, haşere kovucular, boyalar, vitaminler, anti-mikrobia malzemeler, faz değıştiren malzemeler ve sağık uygulamaları (antibiyotikler, hormonlar ve çeşitli ilaçlar) üzerinde de çalışılmaktadır [5].

##### **3.1.1 Faz Değıştiren Malzemelerle Isı Yönetimine Yönelik Mikrokapsüllerin Tekstildeki Uygulamaları**

Faz değıştiren malzemeler ısı depolayıcı malzemelerin bir çeşididir. Isı depolayıcı malzemeler üç başlıkta incelenir, bunlar; hissedilir, gizli ve kimyasal reaksiyonlu ısı depolayıcı malzemelerdir [8].

Hissedilir ısı depolayıcı malzemelerde ısı soğıurma ve salma süreçleri sırasında belirgin bir sıcaklık değışimi gözlenir. Hissedilir ısı depolayıcı malzemelerden en yaygın kullanıma sahip olanlar su, çelik ve taştır. 1° C sıcaklık artışı için soğıurması gereken ısı 4.18 J/g olan su, 1° C ile 99° C sıcaklık aralığında ve 1 standart atmosferde en ucuz ve en kullanışlı hissedilir ısı depolayıcı malzemedir [8].

Gizli ısı depolayıcı malzemeler 40 yıldan beri kullanılmaktadır. Isı depolama şekillerinin en önemlisi, gizli ısı depolamadır ve genellikle “faz değışimi ile ısı depolaması” olarak adlandırılır. Gizli ısı depolayıcı malzemeler “faz değıştiren malzemeler-FDM ” olarak da adlandırılırlar. Genelde üç hali olan malzemeler bir halden diğetine geçtiğinde, bu süreç faz değışimi olarak adlandırılır. Dört çeşit faz değışimi vardır: 1. katıdan sıvıya, 2. sıvıdan gaza, 3. katıdan gaza, 4. katıdan katıya. Aynı zamanda bir gizli ısı depolayıcı olan su; 0°C’de buz konumundan, su konumuna geçişinde veya tersi durumlarında ısı salıverir ya da soğıurur [8].

Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi NASA, 1960'larda uzay laboratuvarları için gizli ısı depolayıcı malzemelerin uygulama araştırmalarını hızlandırdı. Bu malzemeler, araçların korunmasını geliştirmek ve astronotların uzaydaki yüksek sıcaklık değişimlerine dayanmaları için kullanıldılar. Gizli ısı depolayıcı malzemeler, 1980'lerde Apollo15 görevi içinde, ay aracında ve Sky laboratuvarı projesinde de kullanıldılar [9].

Astronotların uzay görevleri sırasında maruz kalacakları yüksek sıcaklık değişimlerinin etkilerini azaltmak için faz değiştiren malzemeleri kapsüllediler fakat bu çalışma uzay programına dahil edilmedi. Triangle Research ve Development şirketi tarafından bu teknoloji her çeşit materyale uygulanmaya başlandı. Soğukla savaş için dizayn edilen faz değiştiren malzemeli (FDM) tekstil ürünleri ayrıca sıcakla da baş edebilmektedir. %80-85 oranında FDM içeren mikrokapsüller ve ufak boyuttaki mikrokapsül daha geniş yüzey alanı sağladığı için sıcaklık değişimlerine hızlı tepki verebilmektedir [5].

Faz değiştiren mikrokapsüllerin uygulama alanında dünyada en ön sıralarda yer alan Outlast firmasının patentli mikrokapsülleri (Outlast thermocules) bulunmaktadır. Amerikan Uzay Dairesi verdiği bir sertifikayla Outlast firmasını ödüllendirmiştir. Dünya üzerinde çeşitli branşlarda bu sertifikayı alan otuzdört firma bulunurken, Outlast bunlar arasında tekstil uygulaması yapan tek firma konumundadır [29]. Outlast liflerinin kullanıldığı bir çalışmada nonwoven olarak üretilen %10 poliester %90 outlast lifleri içeren  $170 \text{ g/m}^2$  ağırlığındaki 6,13 mm kalınlığındaki kumaşın termal direnci  $0.156 \text{ m}^2\text{K/W}$  olarak ölçölmüştür [37].

Isıyı küçük bir sıcaklık değişimi ile salıveren ya da soğurabilen FDM' de gizli erime ısıları, malzemelerin hissedilir ısı kapasitelerinden daha büyüktür. FDM katı ve sıvı fazlar arasında sürekli geçiş yapabilir. Bu geçiş sırasında ısıyı soğurmak, depolamak ve salmak için gizli erime ısılarını kullanırlar [14].

Isı depolayıcı ya da ısı ayarlı dokuma kumaşların ya da giysilerin üretiminde en çok kullanılan gizli ısı depolayıcı malzemeler sıvıdan katıya ya da katıdan sıvıya geçebilen FDM' dir. Bu FDM binalarda, elektronik aygıtlarda, güneş enerjisi ile çalışan çeşitli sistemlerde ve tekstil ürünlerinde ısı yönetiminde kullanılmak üzere araştırılmakta ve bir kısmı uygulama alanı bulmaktadır [8].

Faz değişimi sürecinde ısı salınır ya da soğurulur. Soğurulan ya da salınan ısı içeriğine gizli ısı adı verilir. Tekstil ve giyim sektöründe ısı yönetimi için en çok kullanılan FDM' in genel özellikleri; katıdan sıvı hale ve sıvı halden katı hale geçerler, ısıyı soğuran erime sıcaklığı aralığı 20 ° C ile 40 ° C aralığında ve ısı salımı yapılan kristalleşme sıcaklık aralığı 10°C ile 30 °C arasındadır. Faz değişim sıcaklığı bu aralıkta olan FDM'lere hidratlı inorganik tuzlar, polihidrik alkol-su çözeltileri, polietilenglikol (PEG), politetrametilenglikol (PTMG), alifatik polyester, düz zincirli hidrokarbonlar (parafinler), hidrokarbon alkoller, hidrokarbon asitleri vb. rnek olarak verilebilir.

Bir beton ile FDM arasında karşılaştırma yapılırsa; betonun ısı kapasitesi 1kJ/Kg K iken bir FDM olan kalsiyum klorid heksahidratın ısı kapasitesi ise 193 kJ/Kg dır. Açıkça görülmektedir ki enerji depolama sistemleri göz önünde bulundurulduğunda FDM'ler küçük hacimlerde büyük enerji depolamaları sayesinde enerji depolama konusunda açık bir avantaj elde etmişlerdir.[23]

Kumaşların pasif yalıtım etkisinin yanı sıra aktif ısı yalıtımı da sağlanması amacıyla FDM' in kumaşa uygulanması gündeme gelmiştir. FDM' in tekstil ürünlerine yönelik kullanımıyla sıcaklık değişimlerine karşı tampon etkisi yaparak evre koşullarına ve fiziksel aktiviteye bağlı olarak vücut sıcaklığında meydana gelen değişikleri en aza indirmek amaçlanmaktadır.

Herhangi bir FDM'nin tekstil ürünlerinde kullanılabilmesi için bir dizi koşulu sağlıyor olması gereklidir. Bunlardan başlıcaları:

- Yüksek erime/hidratlaşma ısısı,
- Yüksek ısı iletkenlik,
- Yüksek zgl ısı kapasitesi,
- Faz dönüşümü sırasında minimum hacim değişimi,
- Uygun faz değişim sıcaklığı,
- Faz dönüşümünün tekrarlanabilirliği,
- Düşük korozyon ve bozunma eğilimi,
- Zehirli ve yanıcı olmamak şeklinde sıralanabilir.

Tablo 3.1 bazı FDM'leri ve bilinen termal özelliklerini göstermektedir.

**Tablo 3.1:** Bazı FDM' in termal özellikleri [8]

|                                    | FDM                                                  | Erime Noktası<br>( <sup>0</sup> C ) | Erime Isısı<br>(kJ/kg) | Karbon Atom<br>Sayısı |
|------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| <b>Anorganik Hidrat Tuzları</b>    | CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O                 | 29,00                               | 190,00                 | -                     |
|                                    | LiNO <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O                 | 30,00                               | 296,00                 | -                     |
|                                    | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O  | 32,00                               | 225,00                 | -                     |
|                                    | CaBr <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O                 | 34,00                               | 138,00                 | -                     |
|                                    | Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .12H <sub>2</sub> O | 35,00                               | 205,00                 | -                     |
|                                    | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O   | 43,00                               | 209,00                 | -                     |
| <b>Polietilen Glikoller</b>        | PEG 400                                              | 3.24                                | 91.37                  | -                     |
|                                    | PEG 600                                              | 17.92                               | 121.14                 | -                     |
|                                    | PEG 1000                                             | 35.10                               | 137.31                 | -                     |
|                                    | PEG 2000                                             | 53.19                               | 178.82                 | -                     |
|                                    | PEG 4000                                             | 59.67                               | 189.69                 | -                     |
|                                    | PEG 6000                                             | 64.75                               | 188.98                 | -                     |
|                                    | PEG 10000                                            | 66.28                               | 191.09                 | -                     |
|                                    | PEG 20000                                            | 68.70                               | 187.81                 | -                     |
| <b>Düz Zincirli Hidrokarbonlar</b> | n-hekzadekan                                         | 16.7                                | 236.58                 | 16                    |
|                                    | n-heptadekan                                         | 21.7                                | 171.38                 | 17                    |
|                                    | n-oktadekan                                          | 28.2                                | 242.44                 | 18                    |
|                                    | n-Eykosan                                            | 36.6                                | 246.62                 | 20                    |

Hidrathlı inorganik tuzlar, bir anorganik tuz kristaliyle birlikte n adet su molekülünün bir araya gelmesiyle oluşur. Hidrathlı inorganik tuzların ısı soğurma ve ısı salma sıcaklık aralığı 20° C ila 40° C arasında olanları ısı depolayıcı ya da ısı ayarlı dokuma kumaşların ya da giysilerin üretiminde kullanılmaktadır. Liflerin yapısına katılmış ya da liflere uygulanmış olan çoğu inorganik hidrat tuzlarında birkaç soğutma ısıtma

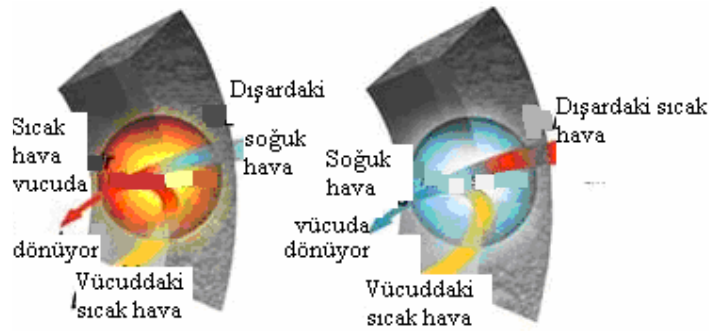
döngüsünden sonra faz değişimi sırasında aşırı soğumanın meydana geldiği gözlenmiştir.

Kalsiyum kloridheksahidrat birkaç döngüde, sodyumsülfatdekahidrat yalnızca bir döngüde ve lityum nitrittrihidrat 25 döngüde özelliğini yitirir. Tuzların kristal suyunu kaybedip geri kazanması işleminin tekrarlanabilirliği tekstillere uygulanabilmeleri açısından önemlidir.

Polietilenglikol (PEG) en önemli FDM' den birisidir. Moleküler ağırlıklarına bağlı olarak PEG' in erime sıcaklığı değişiklik göstermektedir. Molekül ağırlığı ile erime sıcaklığı arasında ki doğru orantının molekül ağırlığı 20000' e kadar devam ettiği bu rakamın üstünde ise PEG' in erime sıcaklığı hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmiştir. Molekül ağırlığı 800 ile 1500 arasında olan PEG' in erime noktası yaklaşık 33 ° C' dir.

Isı depolayıcı ya da ısı ayarlı dokuma kumaşların ya da giysilerin üretiminde en önemli FDM' den biri olan düz zincirli hidrokarbonlar, bir yan ürün olarak petrolün rafine işleminde ortaya çıkar. Genel formülasyonu  $C_nH_{2n+2}$ ' dir ve zehirli olmayan, ucuz ve hammaddeler için geniş bir kaynak oluşturan ve çeşitli kullanımlara uygun malzemelerdir. Erime ve kristalleşme noktaları 10 °C - 40 °C' e arasında olan düz zincirli hidrokarbonların karbon sayıları  $n=16-21$  arasındadır [8].

Diğer tekstil uygulamalarına göre FDM' li mikrokapsüller kırılmaz veya içindeki maddeyi ortama bırakmaz; bu mikrokapsüller önceden belirlenmiş sıcaklık değerine göre bir termostat gibi davranıp, soğuk havada depoladıkları ısıyı verirler ya da sıcak havada da vücuttaki fazla ısıyı soğurarak klima etkisi yaparlar [7]. Şekil 3.1 FDM' li mikrokapsüllerin çalışma şeklini göstermektedir.



**Şekil 3.1:** FDM İçeren Mikrokapsüllerin Çalışma Şekli [7]

FDM'li kumaşlar FDM'siz kumaşlara göre farklılıklar gösterir. Öncelikle FDM'li kumaşlar sıcaklık değişimlerine bağlı olarak dinamik ısı yönetimi sağlamaktadır. Örnek olarak, dış ortam sıcaklığı FDM'nin erime noktasına ulaştığında kumaş üzerindeki FDM katı halden sıvı hale geçerek ısı absorbe ederken, sıcaklığı erime noktasında sabit tutarak sıcaklığın ayarlanmasını sağlamaktadır. Bu işlemin tersi sırasında ise FDM sıvı halden katı hale geçerek ısı yönetimi sağlanmış olur. FDM içermeyen kumaşlarda ise bu özellikler pasif ve statik yöntemlerle gerçekleştirilmiş olunur. Ancak FDM'lerin aktif ısı yönetimi sadece faz değiştirdiği bölgelerde geçerlidir, geri kalan kısımlar için FDM sıcaklık ayarlayıcı olarak kullanılamaz [30].

FDM uygulanmış kumaş ile FDM uygulanmamış kumaşın termal özelliklerinin karşılaştırıldığı çalışmada FDM miktarının artırılmasıyla kumaşların termal performanslarının arttığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca FDM uygulanmış kumaşların sıcaklık değerlerin zamana bağlı değişim oranının kumaşların termal performanslarını değerlendirmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir [30].

Arayüz polimerizasyonu kullanılarak Önder ve Sarier tarafından yapılan araştırmada düz zincirli hidrokarbonlar, anorganik hidrat tuzları ve PEG'ler kapsüllenmiştir. Bu çalışmada ağırlıklı olarak düz zincirli hidrokarbonlar; kolay elde edilmeleri, uygun maliyet faktörü ve zehirli olmamaları nedeniyle tercih edilmişlerdir.

Üretilen mikrokapsüllerin termal performanslarının değerlendirilmesinde ortamın sabit sıcaklık artışına karşılık kapsüllerin sıcaklık değerlerindeki değişim ve bu değişim esnasında harcanan enerji miktarları hesaplanan çalışmada n-oktadekan kullanılan kapsülde 18,8 J/g, n-hekzadekan ve n-eykosaanın beraber kullanıldığı kapsülde 51,7 J/g entalpi değerleri hesaplanırken; bir gram malzemenin sıcaklığı bir derece artırmak için gerekli enerji miktarı en yüksek üç çeşit FDM'nin bir arada kullanıldığı kapsülde 28-30 J/°C\*g olarak hesaplanmıştır [17].

Araba koltuklarında sürücü ve yolcu konforunun sağlanmasına yönelik yapılan çalışmada FDM koltuk yüzeyinin altında ince bir tabaka olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada da malzeme faz değişim sıcaklık değerlerine ulaştığında faz değişimi başlayarak ortamdaki ısı enerjisini soğurmuştur. Bu soğurma sonucunda FDM uygulanmış koltukların sıcaklık değerleri FDM uygulanmamış koltuklara göre dramatik bir şekilde düşük kalmıştır [36].

Kompleks koaservasyon yöntemi ile yağ asitlerinin FDM olarak kapsüllendiği çalışmada saf FDM ve mikrokapsüller ısıtılmış su banyosuna konularak zamana karşı sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Tekrarlı deneylerde mikrokapsüllerin zamana bağlı sıcaklık değerleri ile saf FDM'in zamana bağlı sıcaklık grafikleri karşılaştırılarak aynı zamana bağlı örtüşen sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Bu tespitten yola çıkarak mikrokapsüllerde saf FDM ile aynı karakterde faz değişimi olduğu belirlenmiştir. Mikrokapsüllerin ve FDM'in fiziksel ve kimyasal yapısının değişmediği tespit edilmiştir [33].

### **3.1.2 Koku İçeren Mikrokapsüllerin Tekstil Uygulamaları ve Aromaterapi**

Tekstil malzemelerine taze ve kalıcı bir koku verme üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda koku direkt tekstil ürününe veya tekstil hammaddelerine aplike edilmiş fakat, alınan sonuçlar kalıcı olmamış, birkaç kullanımdan sonra malzeme üzerindeki koku kaybolmuştur. Mikrokapsüllerle taşınan kokuların tekstil ürünlerinde kullanılmasıyla kokuların kalıcılığı artırabilir. Pratikte ufak kapsüller ürünü daha iyi kaplar ve fiziksel güçle kırılmaları daha uzun süreceğinden kokunun kalıcılığını artırır; buna rağmen büyük kapsüller kırıldıklarında daha çok koku malzemesi içerdiklerinden her kırılmada daha çok koku salıverirler. Celessence ve Brookstone firmaları 1999'ların sonuna doğru her türlü tekstil malzemesine kaplama, emdirme yöntemleriyle aplike edilebilen ve uygulama ağırlığına, yıkama sıklığına bağlı olarak 30 yıkamaya kadar dayanabilen koku içeren mikrokapsüller üretmiştir.

Genellikle mikrokapsül uygulanan kumaşın sertleşmesini engellemek için yumuşatıcı kullanmak gerekir; fakat kapsüller renksiz olduğu için her türlü renkli veya baskılı ürüne hiçbir görüntü bozukluğu yaratmadan uygulanabilir [5]. Berne-Welbeck şirketi yeni sezon iç çamaşırlarında 40' a yakın farklı kokuyu; ki bu kokular meyve, çiçek, ve baharatlar gibi çeşitlilik gösterir, kullanmıştır [7].

1982 yılında keşfedilen aromakoloji koku teknolojisinin ve psikolojinin ortaya çıkardığı duyguları inceleyen bir bilim dalıdır. Aromakoloji ve aroma terapi arasındaki farkı açıkça belirtmek zordur; fakat bir çok farklı araştırma ve çalışma metotları vardır [6]. 1980' lerden sonra aromaterapi dört ana konu üzerine yayılmıştır.

1. Medikal aromaterapi Fransa' da çalışılmıştır.

2. Popüler ve kişiye özel aromaterapi batı dünyasındaki tüm yayınlarda ve uygulamalarda bulunabilir.
3. Masaj ile uygulanan aromaterapi ağırlıklı olarak İngiltere’ de görülür.
4. Kokuların insanlar üzerindeki etkilerinin incelendiği bilimsel çalışmalar, Koku Araştırma Fonu tarafından desteklenir [6].

Lavanta bu konuda en çok kullanılan faydalı yağlardandır. Diğer faydalı yağların duygusal ve fiziksel etkileri Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’ de verilmiştir [6].

Yapılan bir çalışmada siklodekstrin kapsül duvarı tasarlanarak koku için kullanılan yağlar kapsüllenmiştir. Bu sistemde siklodekstrin, selülozik doğal bir malzeme olması ve kokunun yeterli miktarda dış ortama difüzyonuna izin vermesinden dolayı kullanılmıştır. Üretilen farklı kokular içeren mikrokapsüller 25 güne kadar genel anlamda etkili kokularını sürdürmüşlerdir [6].

**Tablo 3.2:** Faydalı Yağların İlaçsal Etkileri [6]

| <b>Etki</b>            | <b>Faydalı Yağ</b>                                                          |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Yatıştırma             | Soğan, Limon, Nane                                                          |
| Birleştirme            | Çam, Lavanta, Soğan, Kekik, Karanfil                                        |
| Diüretik               | Çam, Lavanta, Soğan, Kekik, Limon                                           |
| Adet Düzenleyici       | Çam, Lavanta, Nane, Limon, Tarçın, Fesleğen                                 |
| Unutkanlık Azaltıcı    | Soğan, Turunç, Kekik                                                        |
| Heyecan Yatıştırıcı    | Limon, Zencefil, Padişah Otu                                                |
| Uyku Getirici          | Lavanta, Fesleğen, Mercanköşk                                               |
| Tansiyon Düşürücü      | Lavanta, Padişah Otu, Limon                                                 |
| Mide Rahatlatıcı       | Çam, Zencefil, Karanfil, Nane, Soğan, Turunç, Kekik, Padişah Otu, Fesleğen  |
| Ter Attırıcı           | Çam, Lavanta, Kekik                                                         |
| Yel Alıcı              | Zencefil, Karanfil, Soğan, Turunç, Padişah Otu, Limon                       |
| Kilo Azaltıcı          | Soğan, Limon                                                                |
| Ağrı Kesici            | Vanilya, Lavanta, Nane, Soğan, Turunç, Limon                                |
| Toksik Giderici        | Lavanta                                                                     |
| Diabet İyileştirici    | Vanilya, Soğan, Limon                                                       |
| Nezle İyileştirici     | Çam, Lavanta, Nane, Soğan, Kekik,                                           |
| İshal Giderici         | Vanilya, Zencefil, Karanfil, Lavanta, Nane, Soğan, Mercanköşk, Kekik, Limon |
| Romatizma İyileştirici | Lavanta, Soğan Turunç, Kekik                                                |
| Seks Arzusu Artıran    | Çam, Zencefil, Karanfil, Nane, Soğan, Kekik, Padişah Otu, Fesleğen          |
| İştah Açıcı            | Karanfil, Lavanta, Nane, Soğan, Turunç, Padişah Otu, Limon                  |

**Tablo 3.3:** Faydalı Yağların Duyguları Yatıştırıcı Etkileri [6]

| <b>Duygu</b> | <b>Yatıştırıcı Etkiye Sahip Faydalı Yağ</b>                     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------|
| Anksiyete    | Limon, Gül, Karanfil, Yasemin, Kakule                           |
| Matem        | Gül                                                             |
| Titreme      | Oğulotu, Kafur                                                  |
| Kızgınlık    | Oğulotu, Gül                                                    |
| Alerji       | Yasemin, Oğulotu                                                |
| Bezginlik    | Nane, Fesleğen, Selvi, Silhat                                   |
| Gerginlik    | Kafur, Selvi, Vanilya, Yasemin, Oğul Otu, Lavanta, Sandal Ağacı |
| Melankoli    | Fesleğen, Limon, Vanilya, Yasemin, Lavanta, Nane, Gül           |
| Histeri      | Oğulotu, Lavanta, Jasmine                                       |
| Güvensizlik  | Lavanta                                                         |
| Çılgınlık    | Oğulotu, Yasemin, Çam                                           |
| Sinirlilik   | Kafur, Selvi, Lavanta                                           |
| Yalnızlık    | Yasemin, Çam, Silhat                                            |

### **3.1.3 Renk Değiştiren Malzeme İçeren Mikrokapsüllerin Tekstil Uygulamaları**

Renk değiştiren malzemeler şüana kadar birçok alanda kullanıldı; yüzey sıcaklık göstergeleri, pil göstergeleri; şüan ise yeni eğilim tekstil sektöründeki uygulamalarındadır. Genel olarak renk değiştiren sistemlerin iki ana çeşiti vardır; ortam sıcaklığına göre renk değiştiren malzemeler ve ortamda ışığa göre (UV) renk değiştiren malzemeler. Renk değiştiren malzemeler koaservasyon veya ara yüz polimerizasyonu ile üretilir, mikrokapsül malzemeyi sadece dış ortamdan korur. Bu şekilde üretilen malzemeler güvenlik malzemelerinde veya tıbbi malzemelerde ve yeni tasarımlar olarak mayolarda kullanılabilir [7].

### **3.1.4 Alev İtici Malzeme İçeren Mikrokapsüllerin Tekstil Uygulamaları**

Genellikle tek başına tekstil malzemesine katılan alev iticiler, tuşeye olan etkilerini yok etmek için mikrokapsüller kullanılarak elyaftan son ürüne kadar uygulanmaya başlanmıştır [7].

### **3.1.5 Diğer Malzemelerle Tekstilde Mikrokapsül Uygulamaları**

Haşere kovucu zararsız kimyasallar veya doğal maddelerin mikrokapsüller ile uygulanarak haşerelere karşı evde halılarda ve yataklarda dışarıda uyku tulumlarında kullanılarak haşerelere karşı korunabilir. Mitsubishi temizlik bezlerine oktan, parafin gibi temizlik için kullanılan solventleri mikrokapsülleyerek uygulamaktadır [7].

### **3.2 Mikrokapsüllerin Tekstil Ürünlerine Katılma Biçimleri**

Mikrokapsüllerin avantajı tekstil ürününe her aşamada uygulanabilmesidir. İplik aşamasında daha ilk adımda mikrokapsüller tekstil ürünlerine katılabildikleri gibi son hazır giyim ürünlerine de kullanılarak kendilerine geniş bir kullanım alanı sağlamaktadırlar.

#### **3.2.1. Mikrokapsüllü Lif Eğirme**

Lif içine direkt gömülmüş mikrokapsüller içindeki FDM hem lif tabakası hem de mikrokapsül duvarı olmak üzere iki tabaka tarafından korunduğu için daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Bu koruma mikrokapsül içindeki FDM'in sıvı fazdayken sızma olasılığını düşürecek; böylece faz değişiminin tekrarlanabilirliği ve mikrokapsülün ömrünün uzaması sağlanabilmektedir [8].

Mikrokapsüller liflerin içerisine konvansiyonel elyaf üretim aşamalarında katılabilir. Bu üretimde mikrokapsüller polimer çözeltisine, sıvı polimere ya da taban materyaline eklenir ve üretim tekniğine göre polimer eriyiklerinin kaba dökülmesi, kuru ya da yaş çekim sistemine göre elyaf üretimi yapılır [8].

Bu alanda yapılan çalışmalarda FDM içeren 1 ila 10 mikron arasında ki boyutlara sahip mikrokapsüllerin katılmasıyla üretilen elyafın önceden belirlenmiş sıcaklıklarda termal özelliklerinde iyileşme sağlanmıştır. Bu çalışmalarda poliakrilik lif içerisinde ki maksimum FDM içeriği % 10 ve üretilen minimum filament inceliği 2.2 dtex olduğu sonucuna varılmıştır [9].

#### **3.2.2. Mikrokapsüllü Kaplama**

Mikrokapsüllerin kaplama yöntemiyle kumaşlara katılması yöntemi üzerine yapılan çalışmalarda ortak olarak, FDM içeren mikrokapsüller polimer bir bağlayıcı içinde dağıtıldıktan sonra kumaşlara uygulanır. Farklı çalışmalarda bu karışıma kaplama işleminin etkinliğini artırmak için yüzey gerilim düşürücüleri, dispergatörler, köpük engelleyiciler ve kıvamlaştırıcı gibi yardımcı kimyasallar kullanılmıştır. [8].

Ortalama molekül ağırlığı 300-4000 olan PEG içeren mikrokapsüller ile yapılan bir araştırmada polimer bağlayıcı olarak poliakrilik kullanılarak kaplama yapılmıştır. Bu kaplamada poliesterden dokunmuş bir kumaşa polialrilik bağlayıcının 1:1-3 (ağırlık) karışımından oluşan kaplama ile kaplanan kumaşa 7-11 ° C'de ısı salması ve 28-31°C'de ısı soğurması sağlanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada tasarlanan bu

kumaşların soğutucu ünitelerinde ve dağlarda çalışan işçilerin elbiseleri için uygun olduğunu düşünülmüştür [8].

Örme kumaşa FDM içeren mikrokapsüllerin uygulandığı başka bir çalışmada, poliüretan köpük ile uygulanan mikrokapsüllerin farklı oranlarındaki uygulamaların fiziksel özellikleri değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada artan mikrokapsül miktarına bağlı olarak kumaşların sıcaklık değişimlerinde soğurdukları enerji miktarı artmıştır. Kaplanan malzeme miktarının artmasıyla hava ve nem geçirgenliğinde azalma yaşanırken yeniden nem kazanma özelliği artmıştır. Genel anlamda sertlik, düzgünlük gibi yönlerden kumaşların tuşeleri malzeme miktarı artırıldıkça kötüleşmiştir [34].

Honkong politeknik üniversitesinde yapılan doktora tezinde arayüz polimerizasyonu ile oluşturulan düz zincirli hidrokarbon içeren mikrokapsüller yaş çekim ve eriyikten çekim sistemi ile liflere ve kaplama yöntemi ile örme kumaşa aktarılmıştır. Difransiyel taramalı kalorimetre faz değişim özelliklerini belirlemede kullanılmıştır. Bulunan sonuçlarda faz değişimi esnasında yaş çekim sisteminde üretilen lifler tarafından, eriyikten çekim sistemine göre üretilen liflere göre daha fazla enerji soğrulduğu tespit edilmiştir. Soğrulan bu enerji miktarı 27 J/g değerindedir. Kaplanmış kumaşın aynı şekilde içerdiği mikrokapsüllerin faz değişim sıcaklığı aralığında fazla enerji soğurduğu tespit edilmiştir. Soğrulan enerji miktarı numune cinsine göre 8-20 J/g değerleri arasında ölçülmüştür [32].

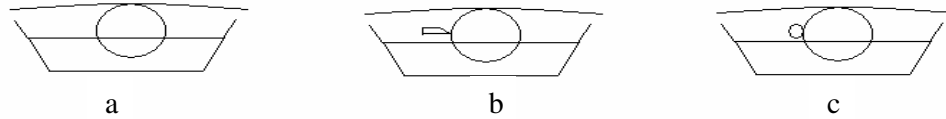
Kansas üniversitesinde yapılan başka bir doktora tezinde %75 oranında n-oktadekan içeren mikrokapsüller %40, %75 oranında n-hekzadekan içeren mikrokapsüller %60 oranında karıştırılarak oluşturulan FDM içeren mikrokapsül karışımı ağırlıkça %60 oranında poliüretan köpük ile karıştırılarak kaplama malzemesi elde edilmiştir. Üretilen bu kaplama malzemesi kar giysilerinin tasarlanmasında kullanılmıştır. Kumaşların insan tenine uzak yönüne kaplama yapılmıştır. Yapılan çalışmada sıcak ortamdan soğuk ortama geçildiğinde ve tersi durumda FDM ile kaplanmış kumaşların beklendiği gibi soğutma ve ısıtma etkileri tespit edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca soğuk ortamda egzersiz yapılırken vücuttan uzak olan FDM'nin soğutma etkisini göstermediği tespit edilmiştir [35].

Geleneksel kaplama; kaplama malzemesinin kumaşa emdirilmesinden sonra bir çift sıkma silindiriyle dozaj ayarlamasına dayanır; ancak kaplama, kumaş yüzeyine

tek taraflı olarak uygulanması gerektiği durumlarda farklı yöntemler kullanmak gerekir [10].

### 3.2.2.1. Aktarma Silindiri

Aktarma silindiriyle kaplama yönteminde kaplanacak kumaş kaplama maddesinin bulunduğu tekne içindeki silindirin üzerinden geçer hareketli olan bu silindir tekneden aldığı malzemeyi kumaşa aktarır. Bu aktarım esnasında madde miktarını ve düzgünlüğünü ayarlamak için silindir üzerindeki madde miktarını ayarlayıcı sıyırma silindiri veya sıyırma rakleleri kullanılmaktadır [10]. Şekil 3.2’de sistem gösterilmektedir.



**Şekil 3.2:** Aktarma Silindiriyle Kaplama Yöntemi (b) Sıyırma Rakleli (c) Sıyırma Silindirli [10]

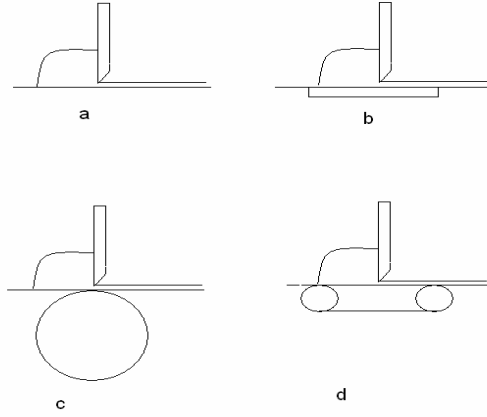
### 3.2.2.2. Rakle ile Kaplama

Kaplama maddesinin miktarını kaplama flottesinin vizkositesinden, yüzey gerilimlerinden ve kumaş yüzey özelliklerinden bağımsız hale getirmek için rakle ile kaplama metodu geliştirilmiştir.

Rakle ile kaplama sistemi temel olarak kaplama maddesinin bir rakle vasıtasıyla homojen ve düzgün bir şekilde kumaş yüzeyine sürülmesidir ve kaplama kalınlığı rakle ile kumaş yüzeyi arasındaki mesafe ile belirlenir. Bu mesafenin ayarı kullanılan kaplama makinesine bağlıdır.

Genel olarak 4 çeşit kaplama tekniği vardır; Şekil 3.3’te gösterildiği üzere;

- Havada rakle
- Silindir üzerinde rakle
- Masa üstünde rakle
- Kauçuk blanket üzerinde rakle



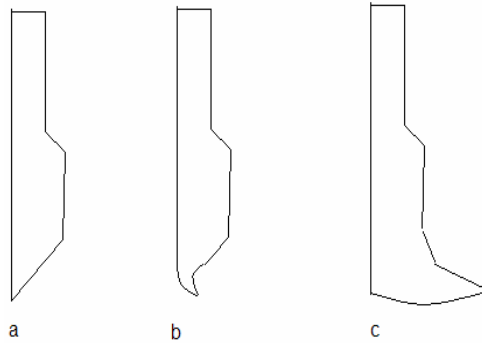
**Şekil 3.3:** Kaplama Teknikleri (a) Havada (b) Masa Üzerinde (c) Silindir Üstünde (d) Blanket Üstünde Rakle Sistemleri [10]

Havada rakle tekniğinin avantajı kumaş yüzeyinde oluşabilecek bir düzgünsüzlüğün, ek yerlerinin kaplama sistemine etki etmez fakat kaplama kalınlığı ayarlanması ve düzgünlüğünün devam ettirilmesi zordur.

Silindir ve masa üzerinde rakle sisteminde kaplama kalınlığı iyi bir şekilde ayarlanmasına rağmen kumaş düzgünsüzlükleri kaplama işlemini etkilemektedir.

Kauçuk blanket üzerinde kaplama yöntemi ile hem kaplama kalınlığının düzgün ayarlanması hem de kumaş düzgünsüzlüklerinin kaplama işlemine etkisini en aza indirmek mümkün olmuştur.

Rakle geometrisi ve uygulama açısının kaplama maddesinin kumaşa nüfusuna ve gramajına çok önemli etkisi vardır. Bu önemden dolayı farklı profile sahip rakleler geliştirilmiştir. Temel olarak üç temel bıçak profili vardır.



**Şekil 3.4:** Rakle Profilleri (a) Sivri Uçlu Rakle (b) Yuvarlak Ağızlı Rakle (c) Pabuç Ağızlı Rakle [10]

1. Sivri uçlu rakle: Düşük gramajlı kaplamalarda kullanır fazla olan kaplama maddesini sivri ucuyla kumaş yüzeyinden kazıyarak uzaklaştırır.
2. Yuvarlak ağızlı rakle: Gramaj olarak sivri uçlu rakleden daha fazla kaplama maddesinin gerektiği durumlarda kullanılır.
3. Pabuç ağızlı rakle: Uzun pabucu sayesinde tüm profillerden daha fazla kaplama malzemesinin kumaş yüzeyine aktarılmasını sağlar [10].

### **3.2.2.3. Gravür Kaplama**

Baskı endüstrisinden tekstil endüstrisine geçen gravür kaplamada kullanılan sert rolüklerin üzerlerine sık bir şekilde grave edilerek küçük oyuklar yerleştirilir. Gravür kaplama en hassas kaplama metodlarından biridir; çünkü kaplama maddesi rolüklerin yüzeyindeki küresel oyukları doldurur ve fazla kısmı bir rakle vasıtasıyla yüzeyden sıyrılır. Aktarılabacak madde miktarı küresel oyukları dolduran kaplama maddesi miktarına bağlıdır buda bu yöntemin en önemli dezavantajı olan dozajlamayı etkiler. Farklı dozajlamalar için farklı boyutlardaki oyuklara sahip rolüklerin kullanılması gerekmektedir. Bu yöntemin diğer dezavantajı ise kaplama maddesine bağlı olarak kaplama sonrası yapılan kaplamanın noktacıklar halinde görülmesidir [10].

### **3.2.2.4. Rotasyon Şablonuyla Kaplama**

Rotasyon şablonuyla kaplama yönteminde silindirik nikel şablonlar kullanılır ve bunlar perfore edilmiş çok sayıda gözenek içerir. Şablonun merkezine itilen kaplama maddesi bir rakle ile ya da silindirik metal bir çubukla gözeneklere itilir. Birim alandaki gözenek sayısı kaplama maddesi miktarını belirler. Bu kaplama yönteminde elde edilen kaplamanın nokta konfigürasyonu vardır bu kaplamayı tüm yüzeyi örter hale getirmek için sıyırıcı bir rakle kullanmak gerekir [10].

### **3.2.3 Mikrokapsüllü Spreyleme**

Mikrokapsüllerin spreyleme ile son ürüne katılması son ürün niteliğinde çeşitlenmeye ve düşük maliyetiyle avantajlı bir uygulamadır. Özellikle koku içeren mikrokapsüllerin uygulanmasında tercih edilen bir yöntemdir. Arzu edilen koku veya faydalı yağ içeren mikrokapsüller son ürüne uygulanabilir.

Spreyleme metodunda mikrokapsüller ile spreyl düsesini uyumu önem kazanmaktadır. Spreyl düsesinde ki deliklerin mikrokapsüllerin rahat geçebileceği boyutlarda olması önemlidir [16].

Spreyl uygulaması esnasında mikrokapsüller direkt ürüne doğru değil havaya doğru püskürtülerek uygulanması gerekir. Bu uygulama da mikrokapsülleri kumaşa bağlayacak çapraz bağlayıcıların kullanımı artmakta ve önem kazanmaktadır. İyi bir bağlayıcı ile mikrokapsüllerin kumaşa tutunma ve ömürleri uzar. Unutulmaması gereken bu uygulamayla zayıf bir bağlanma gerçekleşeceğinden mikrokapsüllerin mamul ürün üzerinde ki ömürleri diğer yöntemlere göre daha kısa olacaktır.

Woolmark ve IFF firmalarının ortak çalışmasıyla üretilen koku içeren mikrokapsüllerin uygulanması için önerilen reçetede mikrokapsül oranının %5 i kadar bağlayıcı ve mikrokapsüller ilk olarak 1:3 oranında seyreltilir daha sonra bu karışım 1:10 oranında seyreltilerek ve homojen bir karışım sağlanarak ürüne uygulanabilir. Ürün 130<sup>0</sup> C' de kurutularak kullanıma hazır hale getirilir [16].

#### **3.2.4 Mikrokapsüllerin Çektirme ve Fular Yöntemiyle Uygulamaları**

Çektirme metodu son ürün yıkamalarında ve kumaş yıkama proseslerinde kullanılabilir. Bu metod için önerilen kullanımda ilk olarak bağlayıcı mamüle uygulanır ve iyi bir şekilde nüfuz etmesi sağlanır. Seyreltilmiş haldeki mikrokapsül daha sonra uygulanır ve bağlayıcı ile reaksiyona girmesi için bir süre beklenir. Gerekli pH ayarlamalarından sonra tekstil ürünü sıkılır ve kurutulur ama kesinlikle durulanmaz [16].

Fularda mikrokapsüller kumaşa uygulanmak istediğinde öncelikle kumaşa ne kadar mikrokapsül uygulanacağı ve kumalın fular ne kadar banyo solüsyonu emdiği tespit edilmelidir. Bu orana göre uygun reçete miktarları hesaplanır. Bu uygulamada mikrokapsüller ve çapraz bağlayıcı aynı anda kullanılır. Fular ile mikrokapsül uygulamalarında dikkat edilmesi gereken husus sıkma silindirlerinde uygulanacak basınç miktarıdır. Mikrokapsüllere zarar vermeyecek şekilde bu basınç ayarının yapılması gerekmektedir. Bu uygulamadan sonra kurutulan ürün için ayrı bir fikse sıcaklığı yoktur [16].

## 4. MATERYAL ve DENEYSEL ÇALIŞMA

### 4.1 Materyal

#### 4.1.1 Mikrokapsülleme için Kullanılacak Malzemeler

Bölüm 2’de üretim tekniğinden bahsedilen kompleks koaservasyon yöntemi mikrokapsül üretim tekniği olarak seçilmiştir. Kompleks koaservasyon metodu ile mikrokapsül üretmek amacıyla başlıca Tablo 4.1’de özellikleri verilen malzemeler kullanılmıştır.

**Tablo 4.1:** Mikrokapsülleme için Kullanılan Malzemelerin Özellikleri [12]

| Özellikler                                 | Polisakkarit Akasya Özütü | Bitkisel Protein | Formaldehit |
|--------------------------------------------|---------------------------|------------------|-------------|
| Özkütle (20 °C) (g/cm <sup>3</sup> )       | 1.4                       | -                | 1.04        |
| Suda Çözünme (g/l)                         | 500                       | 20°C (şişer)     | Çözünür     |
| PH değeri (100g/l, H <sub>2</sub> O, 20°C) | 5                         | 3.8-7.6          | 3-4         |

Mikrokapsül duvarını oluşturmakta kullanılacak polisakkarit ve protein gıda endüstrisine yönelik üretildiğinden insan sağlığına zararlı değildir. Formaldehit ise uçucu, yanıcı ve zehirli bir malzemedir. Bu malzemeyle çalışırken gerekli güvenlik önlemlerini alarak çalışmak gerekmektedir.

#### 4.1.2 Kullanılacak FDM’ in Seçimi

Bölüm 3’te bahsedilen tekstil ürünlerinde kullanım özelliklerine uygun hidrokarbonlardan dört adeti seçilerek mikrokapsül üretiminde öz malzeme olarak kullanılmıştır. Bu malzemelerin bazı özellikleri Tablo 4.2’ de verilmiştir. Kullanılan malzemelerin termal özellikleri, yapılan ölçümlerle belirlenerek, sonuçların sunulduğu kısımda verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Kullanılan Hidrokarbonların Özellikleri [12]

|                                                | <b>n- Hekzadekan</b> | <b>n- Oktadekan</b> | <b>n-Nonadekan</b> | <b>n-Eykosan</b> |
|------------------------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|------------------|
| <b>Molekül Ağırlığı</b><br>(g/mol)             | 226,45               | 254.50              | 268,53             | 282,59           |
| <b>Özkütle</b> (20 °C)<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.78 (katı)          | 0.79 (katı)         | 0.79(katı)         | 0.79 (katı)      |
| <b>Kaynama Noktası</b><br>(°C)                 | 287                  | 317                 | 329-331            | 204-206          |
| <b>Erime Noktası</b> (°C)                      | 22                   | 26-29               | 29-32              | 34-37            |

#### 4.1.3 Kullanılacak Kumaşların Özellikleri

FDM içeren mikrokapsülleri uygulamak için tek tip dokuma kumaş kullanılmıştır. Bu kumaşın özellikleri Tablo 4.3.' te verilmiştir.

**Tablo 4.3:** Kullanılan Kumaşın Özellikleri

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>Kumaş Cinsi</b>                | %100 Pamuk |
| <b>İplik Numarası (Atkı)</b>      | 12 Ne      |
| <b>İplik Numarası (Çözü)</b>      | 16 Ne      |
| <b>Atkı Sıklığı</b> (atkı/cm)     | 18         |
| <b>Çözü Sıklığı</b> (çözü/cm)     | 35         |
| <b>Gramaj</b> (g/m <sup>2</sup> ) | 276        |
| <b>Örgü Raporu</b>                | D 2/1 S    |

Aşağıda deneylerde kullanılan, kaplama malzemesinin ve çapraz bağlayıcının (fiks malzemesinin) özellikleri verilmiştir.

#### 4.1.4. Kapsama Maddesi

Kapsama malzemesi kullanımında literatürde incelenen çalışmalar dikkate alınarak poliüretan esaslı bir kaplama malzemesi seçilmiştir. Kullanılan kaplama malzemesi mikro gözenekli olup, köpük kaplama üretiminde kullanılan polimer bir bileşiktir. Sulu, poliüreten esaslı, beyaz renkli ve orta viskoziteye sahip olan bileşik, negatif yüklü olup pH değeri 9.5 ile 10 arasındadır [14].

#### 4.1.5. Fikse Maddesi ve Katalizör

Kaplamada kullanılan fikse malzemesi, sıcaklığa bağılı olarak (özellikle 120°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda) çapraz bağların oluşumunu artıran sentetik bir dispersiyondur. Renksiz görünümde ve noniyonik bir karaktere sahip olup sıcaklığın yükselmesi ile viskozitesi düşmektedir. pH değeri 8-9 olan fikse malzemesi su ile istenilen oranlarda karıştırılabilmektedir [14]. Köpük katilazörü sarımtırak renkte sıvı bir malzemedir kimyasal yapısı ürünle beraber verilmektedir [14].

#### 4.1.6 Termal Ölçüm Cihazı

Üretilen malzemelerin ısı özelliklerindeki değişimi görebilmek için bilgisayar destekli sıcaklık ölçüm düzeneği kullanılmıştır. Bu sistemde, sıcaklık ölçümünü sağlayan iki adet NiCr-Ni termo elemandan (problardan), Windows işletim sistemine uygun measure 4.2.1.2 yazılımından, kontrol panelinden ve gerekli bağlantı kablolarından oluşmuştur [31]. Şekil 4.1'de kurulan düzenek gösterilmiştir.



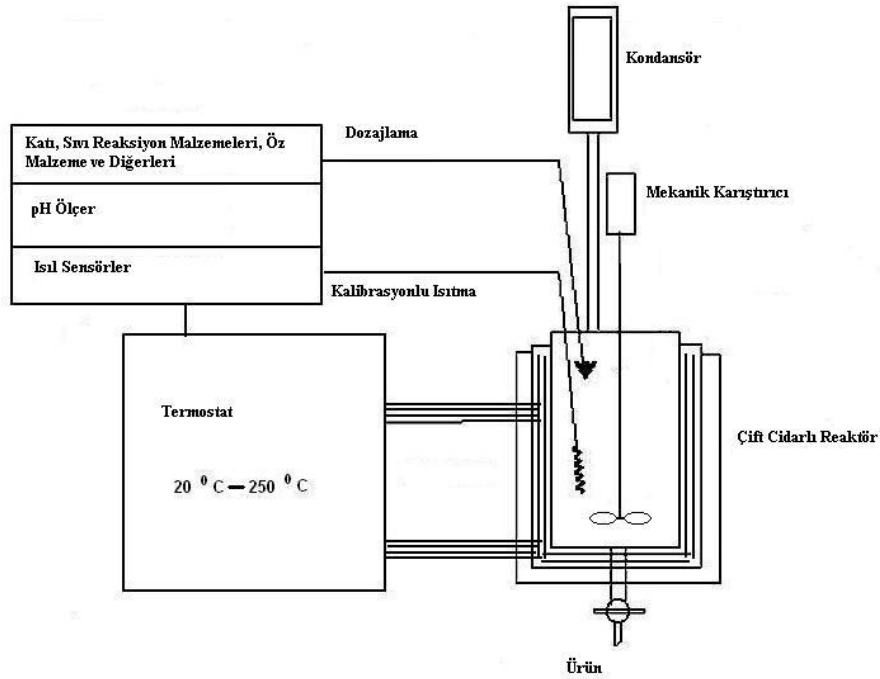
Şekil 4.1: Ölçüm Düzeneği [14]

Bu sistemde literatür kısmında değinilen çalışmalarda olduğu gibi sıcaklık-zaman değerleri ölçülerek üretilen mikrokapsüllerin ısı kapasiteleri ve uygulandıkları kumaşa ısı geçirgenliği açısından yarattığı farklar tespit edilmiştir.

## 4.2 Deneysel Çalışma

### 4.2.1 Mikrokapsülleme Yöntemi

Deneyisel çalışma kapsamında FDM' lerin akasya özü ve bir tür bitkisel protein kullanılarak kompleks koaservasyon yöntemi ile mikrokapsülllenmeleri sağlanmıştır. Mikrokapsül üretiminde kullanılan deney düzeneği Şekil 4.2'deki gibi kurulmuştur.



Şekil 4.2: Deney Düzeneği [17]

Mikrokapsül üretiminde uygulanan proses aşağıdaki gibidir:

1. Ağırlıkça %3'lük protein çözeltisi çözünme sıcaklığı üzerinde hazırlanır. Sistem 1000 rpm hızla 5-10 dakika arası karıştırılır.
2. %0.5' lik yüzey aktifleştirici madde damla damla çözeltiye eklenir .
3. Ağırlıkça %3'lük polisakkarit sisteme eklenir 5-10 dk. karışım homojen hala gelene kadar karıştırmaya devam edilir ve pH 4-5 arasına getirilir.
4. Çözeltiye belli oranda FDM eklenir ve karıştırma hızı 1500-1800 rpm çıkarılır. Sıcaklık proteinin çözünme ve FDM'nin erime sıcaklığı üzerinde tutulur.

5. En az 60dk sonra sisteme birkaç damla tuz ilavesi yapılır
6. Karıştırma durdurulur; sistem soğuk su banyosuna alınıp, ağırlıkça %6 oranında %10'luk tuz çözeltisi ve %0.04 oranında %37' lik formaldehit sisteme eklenir. Sıcaklık 10-15 °C, pH 9-10 derecesine getirilir.
7. Üretilen mikrokapsüller yıkanır ve kurutularak toplanır.

Tablo 4.4 farklı tip ve oranlarda FDM katılarak üretilen mikrokapsül denemelerini göstermektedir. Üretilen mikrokapsüllere “koaservat” ismi verilerek numaralandırılmıştır. Tablo 4.4’ de görüldüğü gibi FDM’ lerin çözelti içindeki kütlece oranı farklılaşmaktadır; bunun için ayrı bir kodlama kullanılmamıştır.

**Tablo 4.4:** Üretilen Koaservatların İsimlendirilmesi ve İçerikleri

| FDM İçerik ve Oranı | Koaservat İsmi                                        |
|---------------------|-------------------------------------------------------|
| n-Hekzadekan %40    | Koaservat 4                                           |
| n-Hekzadekan %60    | Koaservat 5, Koaservat 13, Koaservat 16, Koaservat 17 |
| n-Hekzadekan %80    | Koaservat 6                                           |
| n-Oktadekan%40      | Koaservat 7                                           |
| n-Oktadekan %60     | Koaservat 8                                           |
| n-Oktadekan %80     | Koaservat 9                                           |
| Kontrol Grubu       | Koaservat 10                                          |
| n-Nonadekan %60     | Koaservat 11                                          |
| n-Eykosan%60        | Koaservat 15                                          |

%60’ lık hekzadecane içeren koaservat üretiminde mikrokapsülleme şartlarını iyileştirmeye yönelik formaldehit ile birlikte farklı bağlayıcılar kullanılmıştır

#### 4.2.2 Kumaşların Mikrokapsüller ile Kaplanması

##### 4.2.2.1 Kaplama Reçetesi

Kaplama malzemesi ve mikrokapsüller eşit oranda katılarak 1000 rpm de karıştırılır. Köpük katilazörü %5 oranında eklenerek karıştırma hızı 1500 rpm çıkarılır ve 15 dakika karıştırılır. Fikse malzemesi %1.5 oranında eklenerek karıştırma hızı yarıya düşürülür; 2-3 dakika karıştırmaya devam edilir.

Kaplama malzemesi ve mikrokapsül karışımı 1:1, 1:1.5 seviyelerinde hazırlanarak kumaşlarda sağlanacak ısı özellik araştırılmıştır. Üretilen kaplama malzemeleri içerdikleri koaservat isimleri, üretilme sıralarına ve uygulanacakları kumaşlara göre Tablo 4.5’de belirtildiği gibi isimlendirilmiştir. Koaservat ismi kao şeklinde, koaservatların kaplama maddesine oranı d şeklinde kısaltılarak isme eklenmiştir.

**Tablo 4.5:** Kaplama Malzemesi İsimlendirilmesi

| <b>Kaplama Malzemesi İsmi</b> | <b>İçerdiği Koaservat</b> | <b>Oran</b> |
|-------------------------------|---------------------------|-------------|
| <b>CO1KAO13D1</b>             | Koaservat 13              | 1:1         |
| <b>CO2KAO13D2</b>             | Koaservat 13              | 1:1,5       |
| <b>CO3KAO11D1</b>             | Koaservat 11              | 1:1         |
| <b>CO4KAO8D1</b>              | Koaservat 8               | 1:1         |
| <b>CO5KAO17D1</b>             | Koaservat 17              | 1:1         |
| <b>CO6KAO6D1</b>              | Koaservat 6               | 1:1         |
| <b>CO8KAO15D1</b>             | Koaservat 15              | 1:1         |
| <b>CO7KAO16D1</b>             | Koaservat 16              | 1:1         |

#### 4.2.2.2 Mikrokapsüllerin Kumaşlara Uygulanması

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

Faz değiştiren malzemeler içeren mikrokapsüller, kaplama malzemesi ile birlikte çapraz bağlayıcılar ile kumaş üzerine kaplanmıştır.

Numune kumaşlar 25\*25 cm ölçülerinde kesilerek tartılmıştır. Hazırlanan kumaşlar baskı makinesinde sabitlenmiş rakle önüne dökülen kaplama malzemesi raklenin ileri geri hareketleriyle kumaşlara uygulanmıştır.

Mikrokapsüllerin rakle basıncından etkilenmemesi ve daha fazla malzemeyi kumaşa katabilmek amacıyla manyetizma kuvveti ve rakle hızı minimum seviye getirilerek uygulama yapılmıştır.

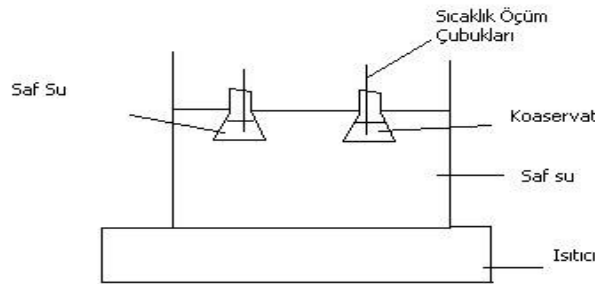
Uygulama yapılan malzemeler etüvde fikse edildikten sonra kondisyonlanma süreci için laboratuarda yirmi dört saat bekletilmiştir. Son olarak uygulama yapılan kumaşların ağırlıkları ölçülerek katılabilen malzeme miktarı belirlenmiştir.

#### 4.2.3 Malzeme Karakterizasyonuna Yönelik Ölçümler

##### 4.2.3.1 Termal Ölçümler

Termal ölçümlerde ilk olarak üretilen mikrokapsüller belirlenen sıcaklık aralığında sabit sıcaklık artışıyla faz değişim entalpisini  $H$  (J/g) hesaplayan Perkin-Elmer/Pyris 1 tip DSC'nin kullanıldığı termal analize gönderilmiştir. Bu sistemde; FDM  $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında, mikrokapsüller  $(-50^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C})$  sıcaklık aralığında,  $10^{\circ}\text{C}/\text{dk}$  sabit hızda ısıtılarak malzemelerin soğurduğu ısı enerjileri ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sonuçlarının değerlendirilmesinde mikrokapsüllerin DSC sonuçları saf FDM'lerin DSC sonuçları ile kıyaslanarak mikrokapsüllerin FDM'leri hapsetme oranları ve etkinleri belirlenmiştir.

İkinci olarak mikrokapsüllerin ısı özellikleri yarı açık bir kalorimetre sistemi içerisinde belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; yaklaşık 650 ml. saf su içerisinde eşit kütlerde, özdeş kaplar içerisine konulan saf su ve koaservatların sıcaklık değişimleri süreye karşı ölçülmüştür. Bu ölçümlerde ortam sıcaklığı koaservatların içerdiği FDM'nin faz değiştirme aralığının  $8-10^{\circ}\text{C}$  altına düşürülmüş ve  $40-45^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa kadar ortalama  $2-5^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$  hızda ısıtılmıştır. Bulunan sonuçlardan mikrokapsüllerin farklı sıcaklık değerleri arasındaki öz ısıları hesaplanmıştır. Ölçüm düzeneği Şekil 4.3'de gösterildiği gibi hazırlanmıştır.



**Şekil 4.3:** Isıl Ölçüm Düzeneği

Verilen ısı eşittir alınan ısı denkleminde mikrokapsüllerin ısı kapasiteleri belirli süre aralıklarında tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu denklem şu şekildedir.

$$Q_{\text{alınan}}=Q_{\text{verilen}} \quad (4.1)$$

$$Q=mc\Delta t \quad (4.2)$$

$$m c_{\text{koaservat}} \Delta t_{\text{koaservat}} = m c_{\text{safsu}} \Delta t_{\text{safsu}} \quad (4.3)$$

$$c_{\text{koaservat}} \Delta t_{\text{koaservat}} = c_{\text{safsu}} \Delta t_{\text{safsu}} \quad (4.4)$$

$$c_{\text{koaservat}} \Delta t_{\text{koaservat}} = 4,18 \Delta t_{\text{safsu}} \quad (4.5)$$

$$c_{\text{koaservat}} = 4,18 \Delta t_{\text{safsu}} / \Delta t_{\text{koaservat}} \quad (4.6)$$

Bulunan ısınma doğrularına göre doğru üzerindeki noktaları yukarıdaki denklemde yerlerine koyarak koaservatların öz ısıları hesaplanmıştır. Hesaplama ısı değişim grafiği 30 saniyelik sürelerle bölünmüştür. Bölünen bu doğruların başlangıç ve bitiş noktaları; ilk sıcaklık ve son sıcaklık değerleri olarak kabul edilmiştir. Ölçüm hassasiyeti açısından başlangıç ve bitiş noktaları değerleri o noktadan on nokta önceye ve on nokta sonraya kadar tüm sıcaklıkların ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Mikrokapsüller ile kaplanan kumaşların termal özellikleri ise benzer şekilde ancak özdeş kaplardan birine kaplanmış kumaş numunesi konulurken diğerine işlem yapılmamış referans kumaş numunesi konularak benzer yöntem ile sıcaklık değişimleri ölçülmüştür.

#### 4.2.3.2 Optik Ölçümler

Üretilen mikrokapsüller Motic marka dijital optik mikroskopta incelenerek görüntülenmiştir. Bu görüntülerden bilgisayar sistemine aktarılarak yararlanılmıştır. Büyütme oranı 10\*4, 10\*10, 10\*40, 10\*100 olarak ayarlanabilmektedir.

## 5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

### 5.1 Mikrokapsüllerin Termal Özellikleri

#### 5.1.1 Saf FDM'lerin DSC Analiz Sonuçları

Kullanılan FDM'lerin DSC analizleriyle malzemelerin faz değişim reaksiyonlarının entalpi değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler Tablo 5.1'de gösterilmektedir.

**Tablo 5.1:** Kullanılan FDM'lerin DSC Sonuçları [17]

|                                          | n- Hekzadekan | n- Oktadekan | n-Nonadekan  | n-Eykosan |
|------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|-----------|
| <b>Isı Soğurma Sıcaklık Aralığı (°C)</b> | 10-26         | 26-44        | 21- 25 29-37 | 30-45     |
| <b>Entalpi (J/g)</b>                     | 185.3         | 233.8        | 194.35       | 155.0     |
| <b>Tepe Sıcaklık Değeri (°C)</b>         | 22            | 35.6         | 34.3         | -         |

FDM olarak kullanılan dört tip hidrokarbonun ısı depolama ve salıverme kapasiteleri tekstil ürünlerinde termal konfor sağlamaya yönelik ihtiyaçları karşılayacak seviyededir.

#### 5.1.2 Üretilen Mikrokapsüllerin DSC Analizleri

Üretilen mikrokapsüllerin DSC analizlerinde ölçüm sıcaklık aralığı -50 °C - 40 °C belirlenerek bu sıcaklık aralığında 10 °C/dk hızda ısıtılarak malzemenin soğurduğu ısı enerjileri ölçülmüştür. Bu ölçümlerde malzemenin tüm kütlesi esas alınarak entalpi değerleri bulunmuştur. Analizlerde ısı soğurmanın en yüksek olduğu sıcaklık noktaları belirlenmiştir. Analiz sonuçları Tablo 5.2'deki gibidir.

**Tablo 5.2: Koaservatların DSC Sonuçları**

|                     | Isı Soğurma Tepe Sıcaklık Noktaları (°C) |                      | Faz Değiştirme Aralıkları (°C) | Soğurulan Enerji Miktarı (mJ) |                    | Entalpi Değerleri (J/g) |                      |
|---------------------|------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
|                     | I. Bölge                                 | II. Bölge            | II. Bölge                      | I. Bölge                      | II. Bölge          | I. Bölge                | II. Bölge            |
| <b>Koaservat 4</b>  | -4.9                                     | 19.54                | 13-25                          | 608.92                        | 264.80             | 98.21                   | 4.271                |
| <b>Koaservat 5</b>  | 2.72                                     | 19.89                | 14-25                          | 908.01                        | 261.76             | 174.61                  | 50.339               |
| <b>Koaservat 6</b>  | 1.57                                     | 20.98                | 13-27                          | 544.05                        | 1012.60            | 77.72                   | 144.65               |
| <b>Koaservat 8</b>  | 4.23                                     | 30.04                | 26-34                          | 1614.59                       | 208.56             | 233.99                  | 30.22                |
| <b>Koaservat 9</b>  | -1.84                                    | 30.31                | 25-34                          | 170.70                        | 746.21             | 37.93                   | 165.82               |
| <b>Koaservat 10</b> | 1.56                                     | -                    | -                              | 1033.25                       | -                  | 184.51                  | -                    |
| <b>Koaservat 11</b> | -0.40                                    | 24.30<br>ve<br>34.04 | 23-28 ve<br>30-39              | 794.73                        | 76.93 ve<br>255.58 | 137.02                  | 13.26<br>ve<br>44.06 |

DSC analiz sonuçları değerlendirildiği zaman kontrol grubu dahil tüm numunelerin 0°C sıcaklığı yakında ısı soğurduğu görülmektedir. Bu sonuç tüm numunelerin yapısında suyun varlığını göstermektedir. Kontrol grubu mikrokapsüllerde suyun erime noktası haricinde bir noktada başka bir ısı soğurumu gözükmemesi FDM içeren mikrokapsüllerdeki ikinci ısı soğurumlarının FDM'ler tarafından gerçekleştiğini göstermektedir.

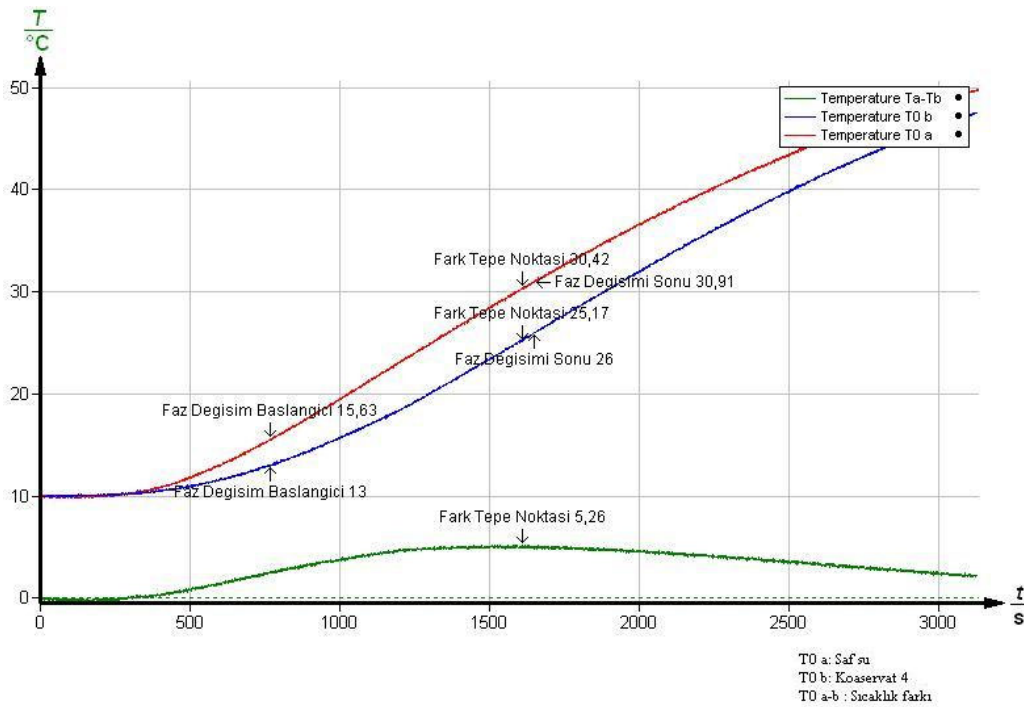
Soğurulan enerji düzeyleri saf FDM'ler için ölçülen değerler ile kıyaslandığında; n-hekzadekanlı numunelerde Koaservat 6 ile %78 oranında, n-oktadekanlı numunelerde Koaservat 9 ile %71 oranında kapsülleme gerçekleştiğini göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde mikrokapsül içeresine katılmaya çalışılan FDM miktarı artırıldıkça suyun erime noktasında ki ısı soğurumun düştüğü görülmektedir. FDM içeren mikrokapsüllerin kullanılan saf FDM'nin erime sıcaklığı etrafında ısı soğurmaya başladığı ve birkaç derece içerisinde tepe noktasına ulaştığı görülmüştür. FDM miktarı artırıldıkça bu noktadaki ısı soğurumunun arttığı da tespit edilmiştir.

Hesaplanan entalpi değerlerine bakıldığında FDM miktarı artıkça FDM'lerin erime noktalarında ki entalpi değerlerinin arttığı aynı malzeme de suyun erime noktasındaki entalpi değerinin düştüğü belirlenmiştir. Bu durum hidrofob özellikte olan hidrokarbonların yapıdaki miktarı artıkça yapıdan suyun uzaklaştırdığı şeklinde açıklanabilir.

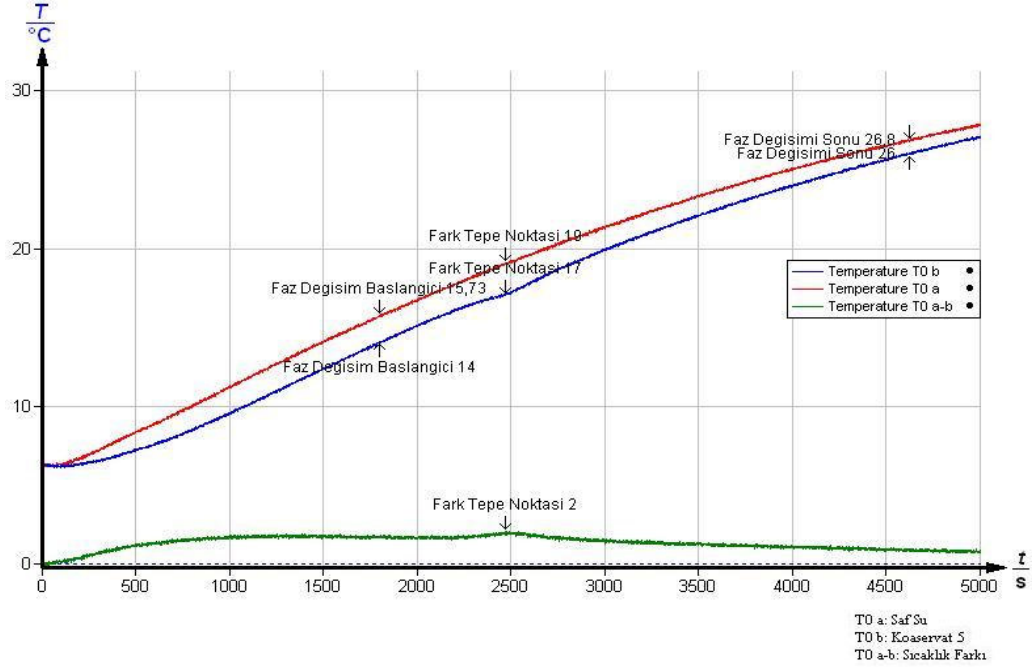
### 5.1.3 Üretilen Mikrokapsüllerin Isınma Grafikleri

Eşit kütledeki mikrokapsül ve saf suyun eşit sıcaklık noktasından başlayarak sabit enerji ile ısıtılmıştır. Bu ısıtma esnasında değerler her saniye kayıt edilerek ısınma grafikleri oluşturulmuş ve iki malzeme arasındaki sıcaklık fark değişimi grafiğe eklenmiştir. Grafikte sıcaklık farkının en yüksek olduğu noktalar malzeme, saf su ve sıcaklık farkı doğrularında işaretlenerek bu noktalardaki sıcaklık değerleri verilmiştir. Bölüm 4'te belirtilen yöntem ile Koaservat 6, 11, 13, 15, 16 ve 17 için öz ısı değerleri hesaplanmıştır ve sıcaklık değerleri ile grafikleştirilmiş farklı sıcaklık değerlerinde mikrokapsüllerin öz ısıları karşılaştırılmıştır. Bu grafikler Şekil 5.1 ile Şekil 5.16 arası şekillerde gösterildiği gibidir.



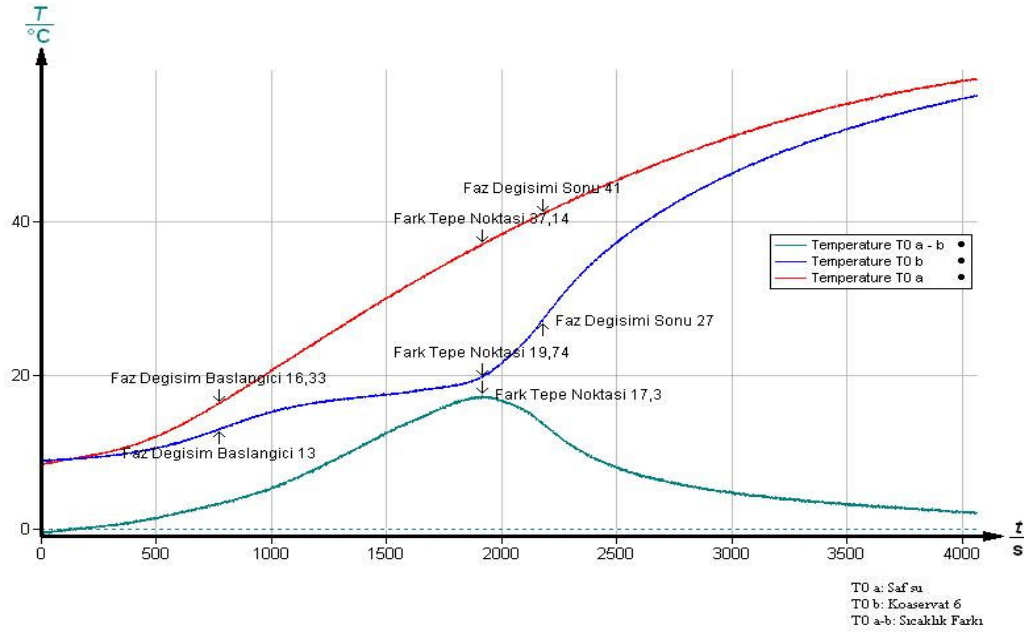
Şekil 5.1: Koaservat 4 (%40 n-hekzadekan) Isınma Grafiği

Koaservat 4'e ait ölçümler incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının sıcaklığın DSC analizlerinde ölçülen faz değişim sıcaklık değerlerine gelmesiyle arttığı görülmektedir.

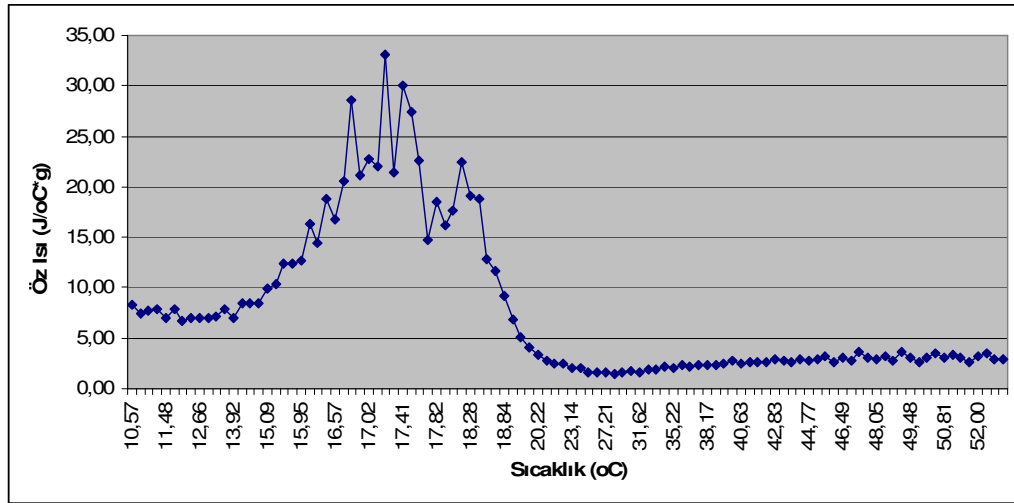


**Şekil 5.2:** Koaservat 5 (%60 n-heksadekan) Isınma Grafiği

Koaservat 5'e ait ölçümler incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının sıcaklığın DSC analizlerinde heksadekan için ölçülen faz değişim sıcaklık değerlerine gelmesiyle arttığı görülmektedir. Elde edilen fark ve farkın korunma süresinin azlığı koaservatın DSC analizinde düşük çıkan entalpi değeri ile örtüşmektedir.



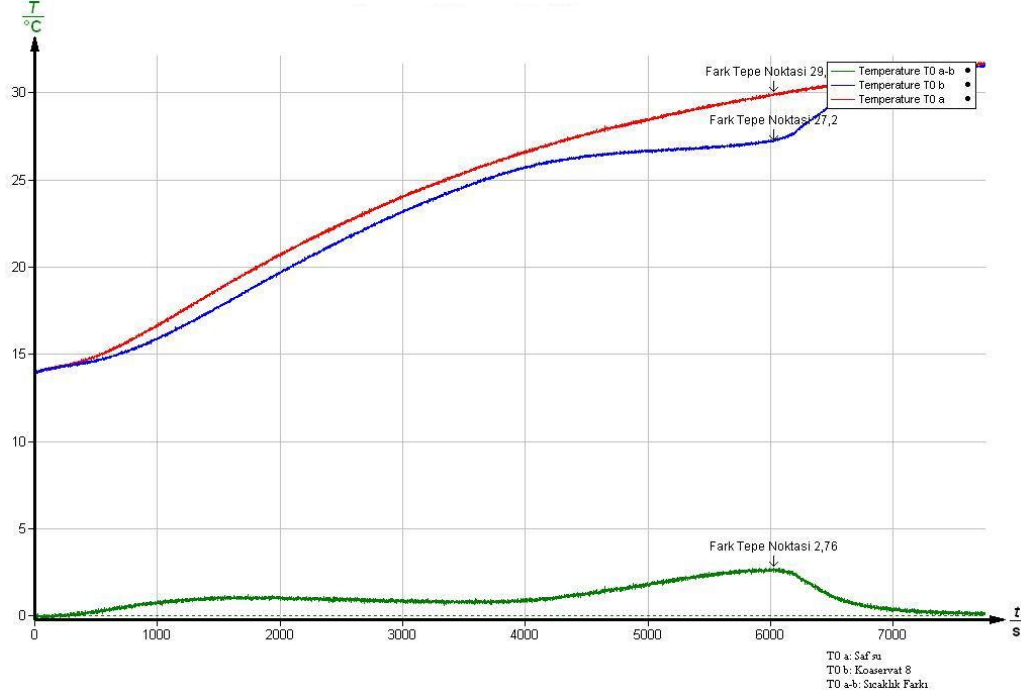
**Şekil 5.3:** Koaservat 6 (%80 n-hekzadekan) Isınma Grafiği



**Şekil 5.4:** Koaservat 6 (%80 n-hekzadekan) Öz Isı Değerleri

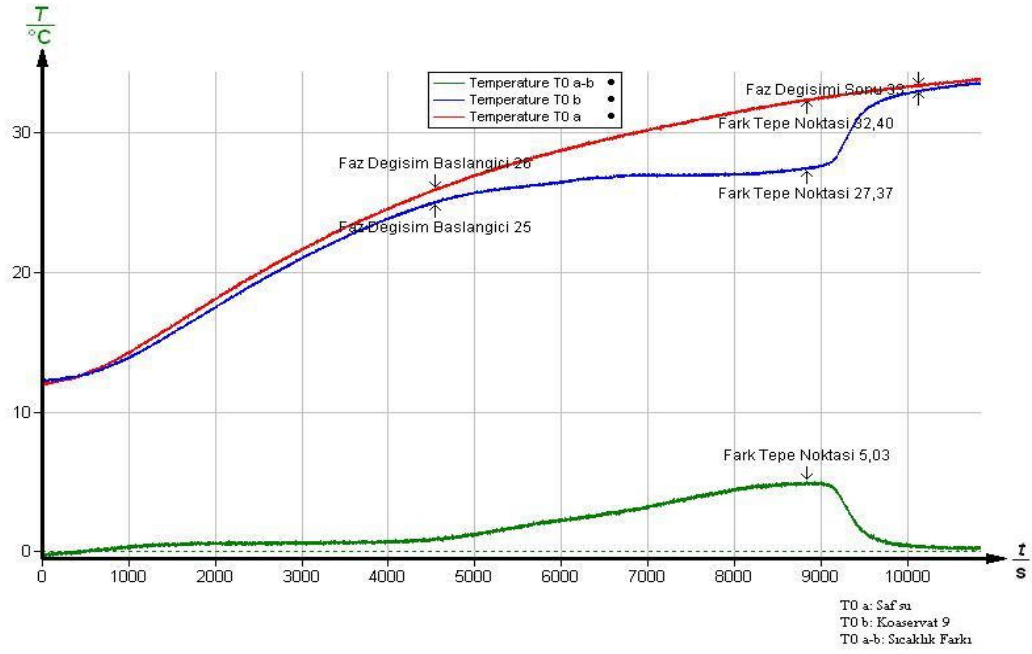
Koaservat 6'ya ait ölçümler incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının sıcaklığın DSC analizlerinde Koaservat 6 için ölçülen faz değişim sıcaklık değerlerine gelmesiyle arttığı görülmektedir (13°C-27°C). Hesaplanan öz ısı değerleri incelendiğinde; Koaservat'ın sıcaklığı 13°C dereceye ulaşana kadar öz ısı değeri 7 J/°C\*g seviyelerindedir, bu noktadan sonra Koaservat'ın öz ısı değeri artmaya başlayarak ilk öz ısı değerinin 3-4 katına kadar çıkmaktadır. Faz değişiminin bittiği 27°C dereceden sonra Koaservat'ın öz ısı tekrar azalarak 3 J/°C\*g seviyelerinde

seyretmektedir. Koaservat'ın bu sıcaklık aralığında suyun sıcaklık değeri 16 °C civarlarından 41 °C civarına çıkmaktadır. Bu süre zarfında suyun kütle başına enerji değişimi 103.1 J/g çıkmaktadır; sistem özelliğiyle bu değer Koaservat'ın faz değişimi esnasındaki entalpi değeri olarak alınabilir.



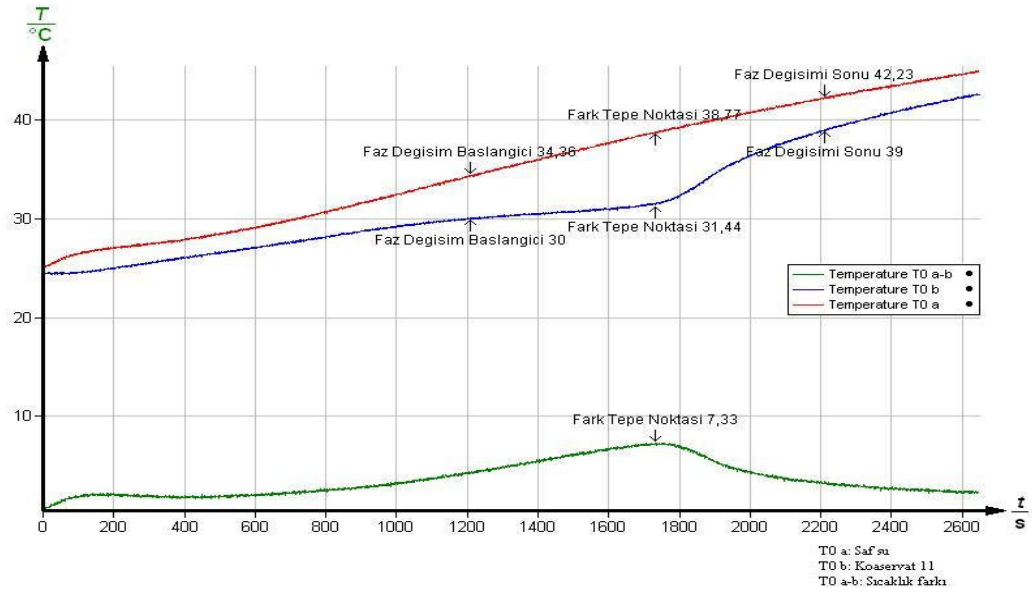
**Şekil 5.5:** Koaservat 8 (%60 n-oktadekan) Isınma Grafiği

Koaservat 8'e ait ölçümler incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının sıcaklığın DSC analizlerinde n-oktadekan için ölçülen faz değişim sıcaklık değerlerine gelmesiyle arttığı görülmektedir. Elde edilen fark ve farkın korunma süresinin azlığı koaservatın DSC analizinde düşük çıkan entalpi değeri ile örtüşmektedir.

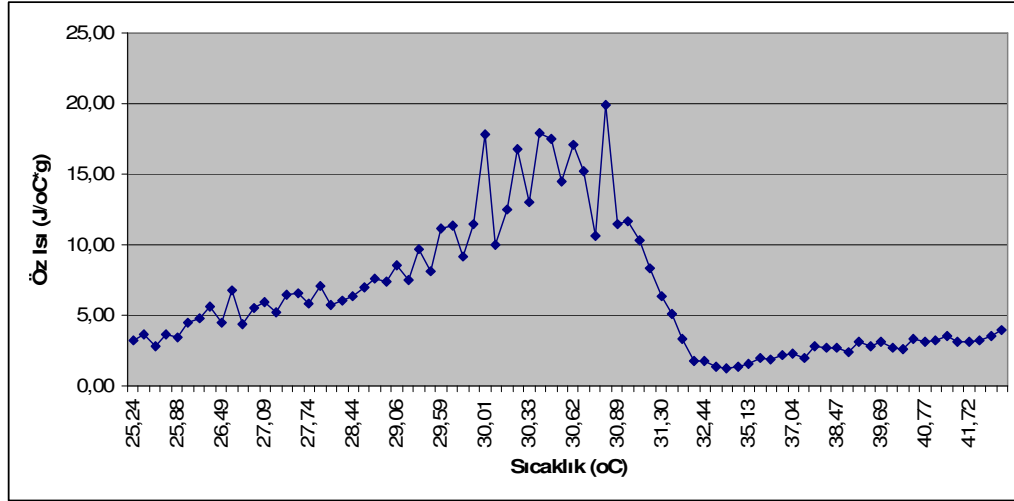


**Şekil 5.6:** Koaservat 9 (%80 n-oktadekan) Isınma Grafiği

Koaservat 9'a ait ölçümler incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının sıcaklığın DSC analizlerinde oktadekan için ölçülen faz değişim sıcaklık değerlerine gelmesiyle arttığı görülmektedir. Elde edilen farkın yüksekliği ve farkın korunma süresinin uzunluğu koaservatın DSC analizinde yüksek çıkan entalpi değeri ile örtüşmesine karşı ölçüm esnasında oktadekanın mikrokapsül dışında görülmesi bu numunenin değerlerinin gösterge olmayacağını göstermektedir.

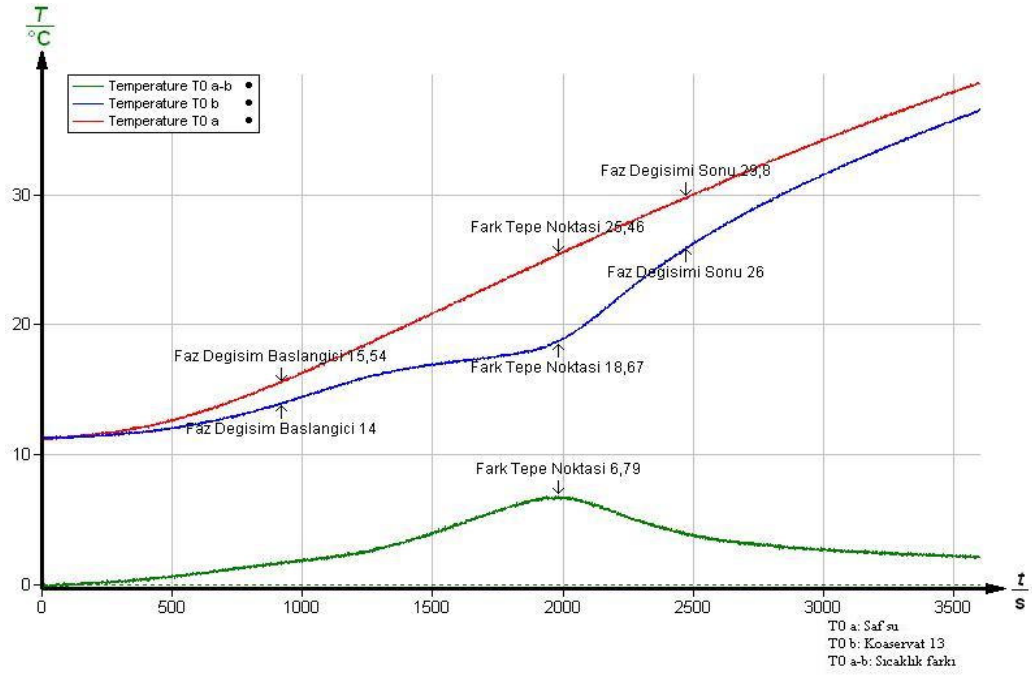


**Şekil 5.7:** Koaservat 11 (%60 n-nonadekan) Isınma Grafiği

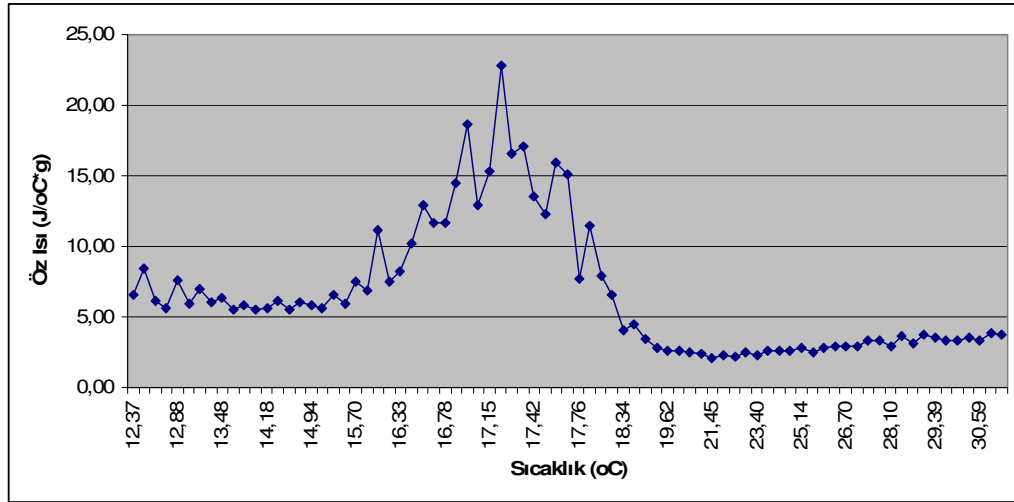


**Şekil 5.8:** Koaservat 11(%60 n-nonadekan) Öz Isı Değerleri

Koaservat 11'e ait ölçümler incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının sıcaklığın DSC analizlerinde n-nonadekan için ölçülen faz değişim sıcaklık değerlerine (29°C-39°C) gelmesiyle arttığı görülmektedir. Hesaplanan öz ısı değerleri incelendiğinde Koaservat'ın sıcaklığı 29°C ulaşınca kadar öz ısı değeri 5 J/°C\*g seviyelerindedir. Bu noktadan sonra artmaya başlayan koaservat öz ısı değeri, ilk öz ısı değerinin 2-3 katına çıkmaktadır. Koaservat içerisinde faz değişiminin gerçekleştiği süre içerisinde su 34°C sıcaklıktan 42°C sıcaklığa ulaşmıştır. Bu süre zarfında koaservatın soğurduğu enerji kütle başına 33 J/g olarak hesaplanmıştır.



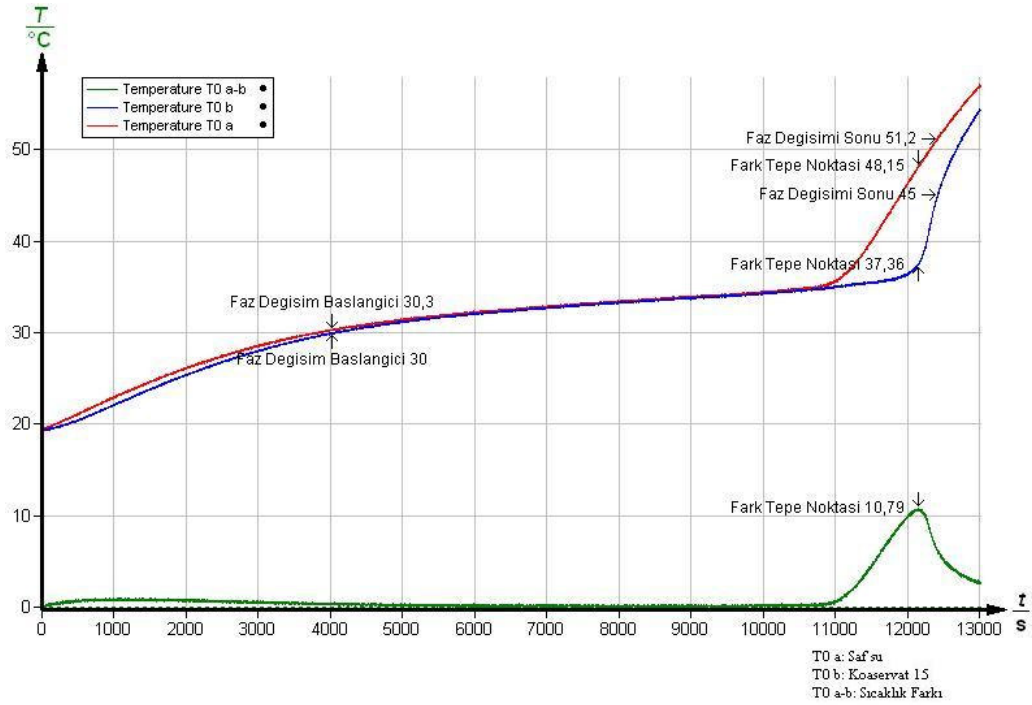
**Şekil 5.9:** Koaservat 13 (%60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği



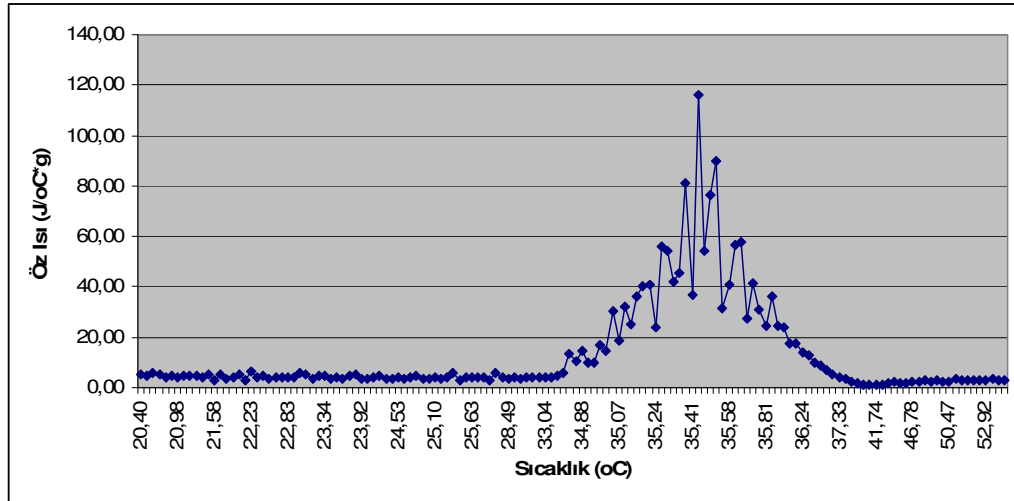
**Şekil 5.10:** Koaservat 13 (%60 n-hekzadekan) Öz Isı Değerleri Grafiği

Koaservat 13'e ait ölçümler incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının aynı şekilde n-hekzadekan içeren Koaservat 6 numunesine benzer bir karakteristikte artıp azaldığı tespit edilmiştir. Hesaplanan öz ısı değerleri incelendiğinde; Koaservat'ın içerdiği n-hekzadekanın faz değişimine uygun şekilde 13 °C sıcaklıktan sonra Koaservat'ın öz ısı değeri seyir ettiği 5-6 J/°C\*g değerinden 4-5 kat artarak 15-20 J/°C\*g değerlerine ulaşmıştır. Faz değişimi sonrası öz ısı

3-4 J/°C\*g değerlerine dönmüştür. Faz değişimi esnasında Koaservatın soğurduğu enerji kütle başına 55.42 J/g olarak hesaplanmıştır.



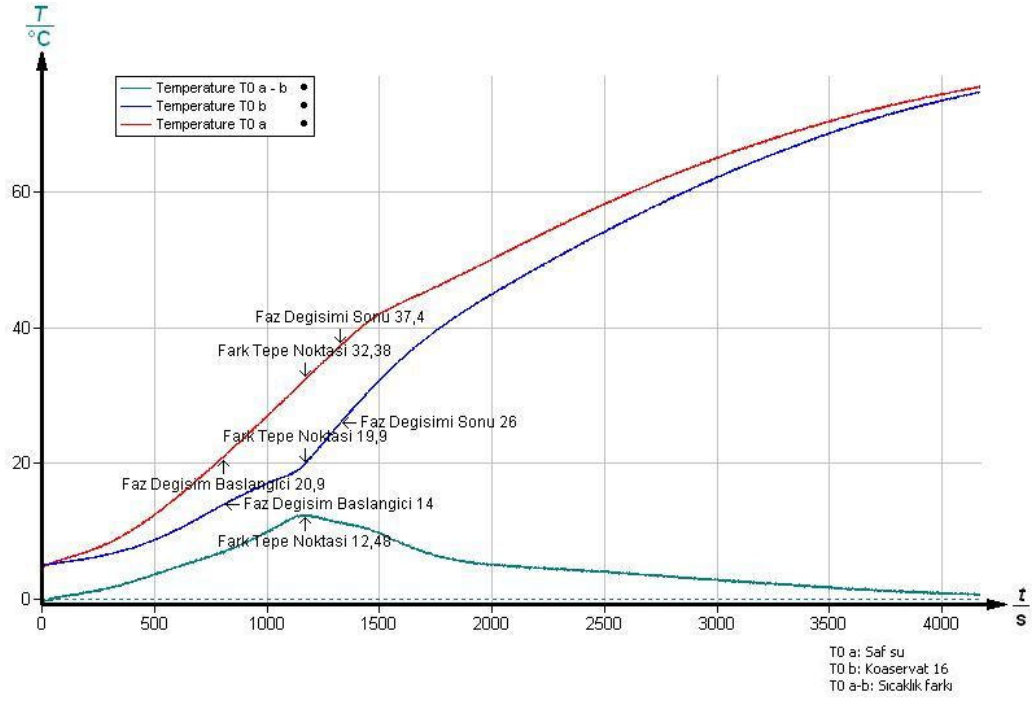
Şekil 5.11: Koaservat 15 (%60 n-eykosan) Isınma Grafiği



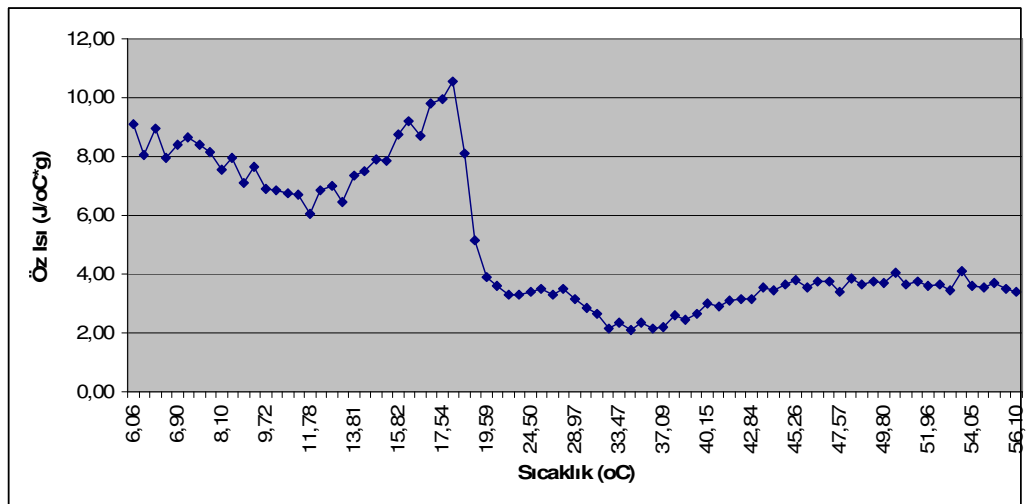
Şekil 5.12: Koaservat 15 (%60 n-eykosan) Öz Isı Değerleri

Koaservat 15'e ait ısınma grafiği incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının sıcaklığın DSC analizlerinde n-eykosan için ölçülen faz değişim sıcaklık değerlerine (30°C-45°C) gelmesiyle arttığı görülmektedir. Hesaplanan öz ısı

değerleri incelendiğinde 4-5 J/°C\*g değerlerinden faz değişiminin başladığı sıcaklığa (30°C) ulaşıldıktan sonra artarak faz değişimi esnasında 13-15 kat yükselmiştir. Faz değişiminin sona ermesiyle öz ısı değerleri 3 J/°C\*g değerlerine geri düşmüştür. Faz değişimi sırasında Koaservat'ın soğurduğu enerji kütle başına 87.78 J/°C\*g olarak hesaplanmıştır.

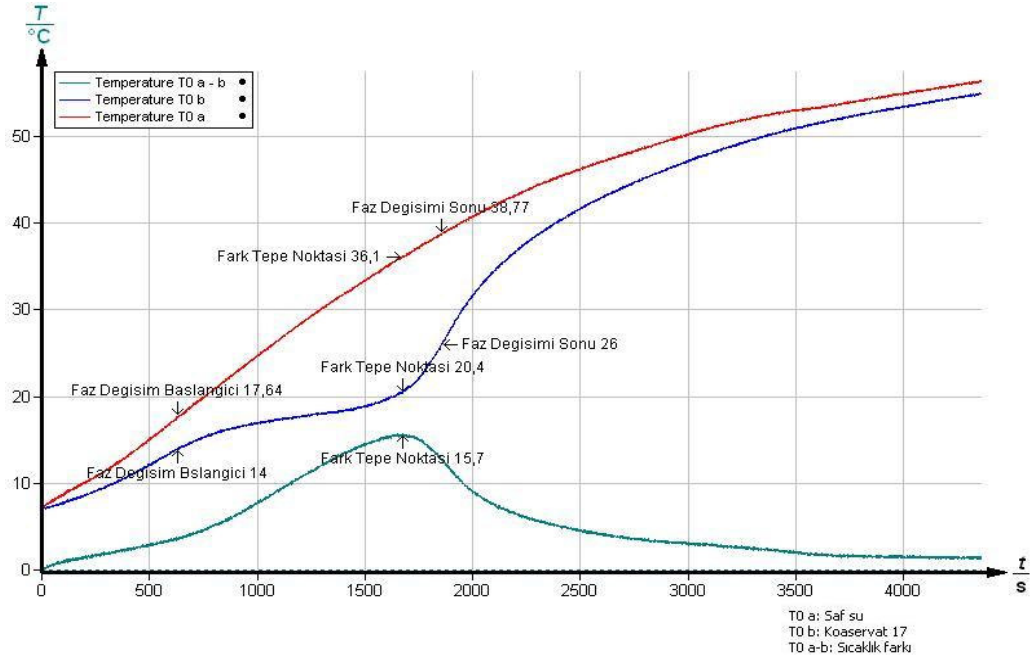


**Şekil 5.13:** Koaservat 16 (%60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği

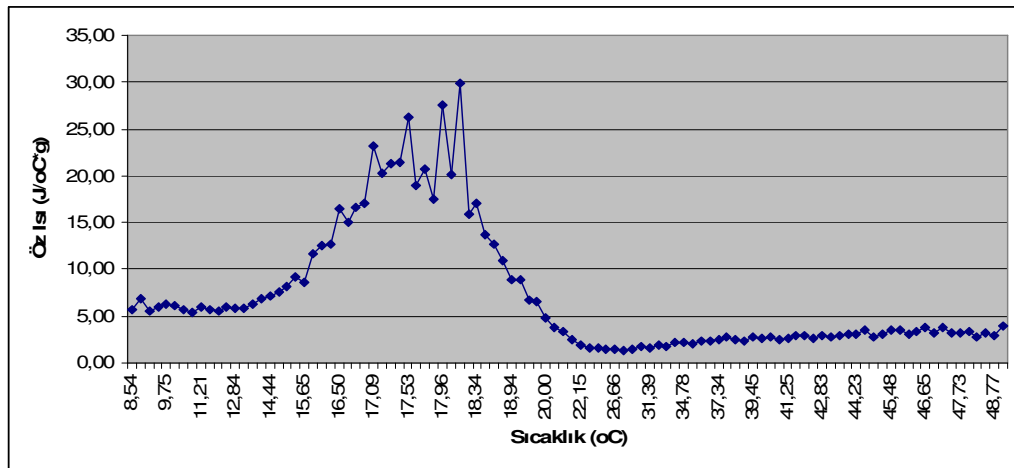


**Şekil 5.14:** Koaservat 16 (%60 n-hekzadekan) Öz Isı Değerleri

Koaservat 16'ya ait ölçümler incelendiğinde mikrokapsülle su arasındaki sıcaklık farkının sıcaklığın DSC analizlerinde n-hekzadekan için ölçülen faz değişim sıcaklık değerlerine ( $13^{\circ}\text{C}$  - $26^{\circ}\text{C}$ ) gelmesiyle arttığı görülmektedir. Hesaplanan öz ısı değerleri incelendiğinde; faz değişiminin başladığı  $13^{\circ}\text{C}$  sıcaklık değerinden itibaren faz değişimi boyunca artan öz ısı değeri ilk değeri olan  $6-7 \text{ J}^{\circ}\text{C}^*\text{g}$  değerinin  $1,5-2$  değerine ulaştığı hesaplanmıştır. Faz değişiminin bitmesiyle öz ısı değeri  $3-4 \text{ J}^{\circ}\text{C}^*\text{g}$  değerlerine düşmüştür. Faz değişimi boyunca Koaservat'ın soğurduğu enerji miktarı kütle başına  $68.97 \text{ J/g}$  olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 5.15:** Koaservat 17 (%60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği



**Şekil 5.16:** Koaservat 17 (%60 n-hekzadekan) Öz Isı Değerleri

%60 n-hekzadekan içeren diğer bir numune olan Koaservat 17 de n-hekzadekanın ısı sıcaklık grafiğine uygun bir davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Koaservat 17'nin öz ısı değerleri 5-6 J/°C\*g değerlerinden faz değişiminin başladığı 13°C sıcaklıktan itibaren 4-5 kat artarak 20-25 J/°C\*g değerlerine ulaşmıştır. Faz değişimi boyunca 88.32 J/g değerinde enerji kütle başına Koaservat tarafından soğurulmuştur.

Aynı FDM'yi aynı oranlarda içeren farklı numunelerden Koaservat 13, Koaservat 16, Koaservat 17 için bulunan entalpi değerlerine bakıldığında sırasıyla 55.42, 68.97, 88.32 J/g değerleri bulunmuştur bu numunelerin ısınma grafiklerindeki fark tepe noktalarıyla bu değerler değerlendirildiğinde entalpisi yüksek olan numunelerde daha yüksek sıcaklık farkları yakalanmıştır.

#### 5.1.4 Kaplanan Kumaşların Isınma Grafikleri

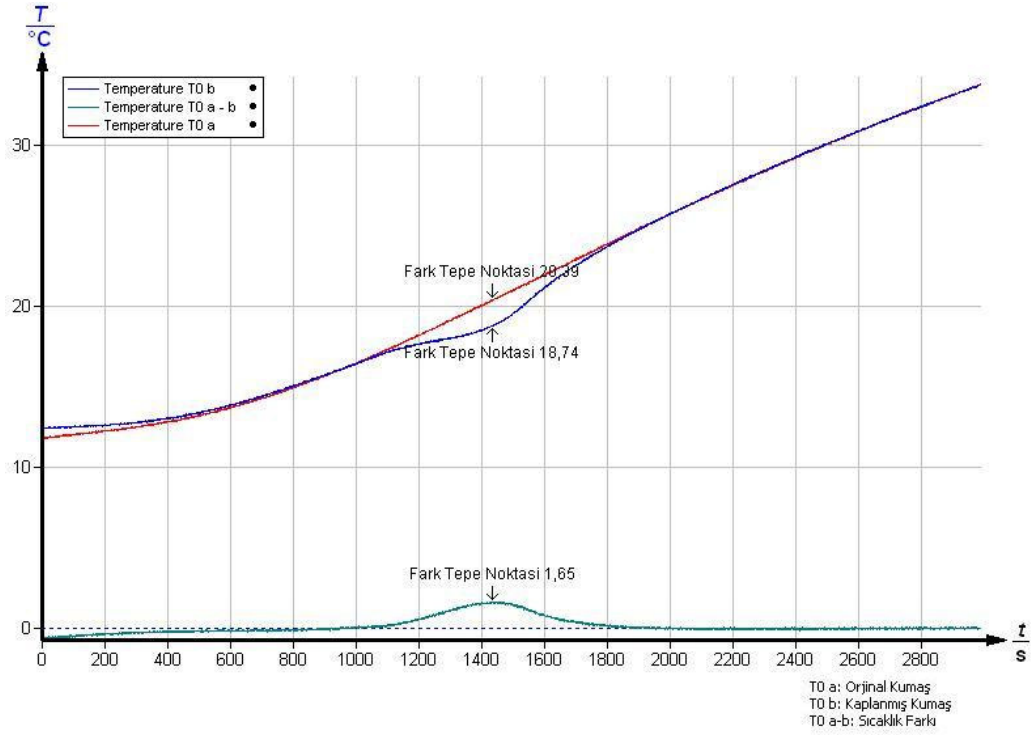
Kaplanmış numunelerin ağırlıkları tartılarak bulunmuş ve bu değerler ilk değerleri ile karşılaştırılarak kaplanan malzeme miktarı tespit edilmiştir. Bulunan değerler Tablo 5.3'da verilmiştir.

**Tablo 5.3: Kaplanan Malzeme Oranı**

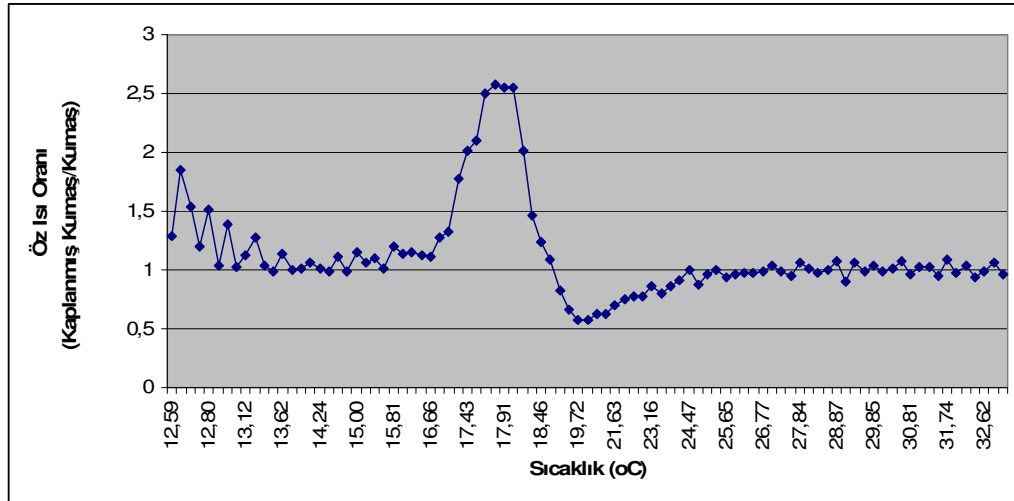
|                   | <b>Orijinal<br/>Kumaş<br/>Ağırlığı (g)</b> | <b>Kaplanmış<br/>Kumaş<br/>Ağırlığı (g)</b> | <b>Kaplanan<br/>Malzeme Oranı<br/>(%)</b> |
|-------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>CO1KAO13D1</b> | 16.9                                       | 22.2                                        | 15.6                                      |
| <b>CO2KAO13D2</b> | 16.37                                      | 22.51                                       | 22.5                                      |
| <b>CO3KAO11D1</b> | 16.91                                      | 20.28                                       | 9.9                                       |
| <b>CO4KAO8D1</b>  | 16.74                                      | 18.47                                       | 5.1                                       |
| <b>CO5KAO17D1</b> | 17.06                                      | 20.32                                       | 9.5                                       |
| <b>CO6KAO6D1</b>  | 16.81                                      | 20.4                                        | 9.5                                       |
| <b>CO7KAO16D1</b> | 16.64                                      | 20.03                                       | 10.1                                      |
| <b>CO8KAO15D1</b> | 17.05                                      | 20.31                                       | 9.5                                       |

Kaplanan kumaşlar eşit ağırlıktaki kaplanmamış kumaşlar ile eşit sıcaklıkta ısıtılmaya başlandığında iki numunenin sıcaklıkları her saniye kayıt edilerek aşağıda ki grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklere iki numune arasında ki sıcaklık farkı eklenmiş sıcaklık farkının en yüksek olduğu noktalar tespit edilmiştir. Bölüm 4'te verilen ısı enerjisi hesaplama formüllerinden faydalananarak kaplanmış kumaş numunelerinin sıcaklık değişimiyle öz ısılarındaki değişim orijinal kumaşa göre

hesaplanarak grafiklere aktarılmıştır. Bu grafikler Şekil 5.17’den Şekil 5.32’ e kadar olan şekillerde verilmiştir.



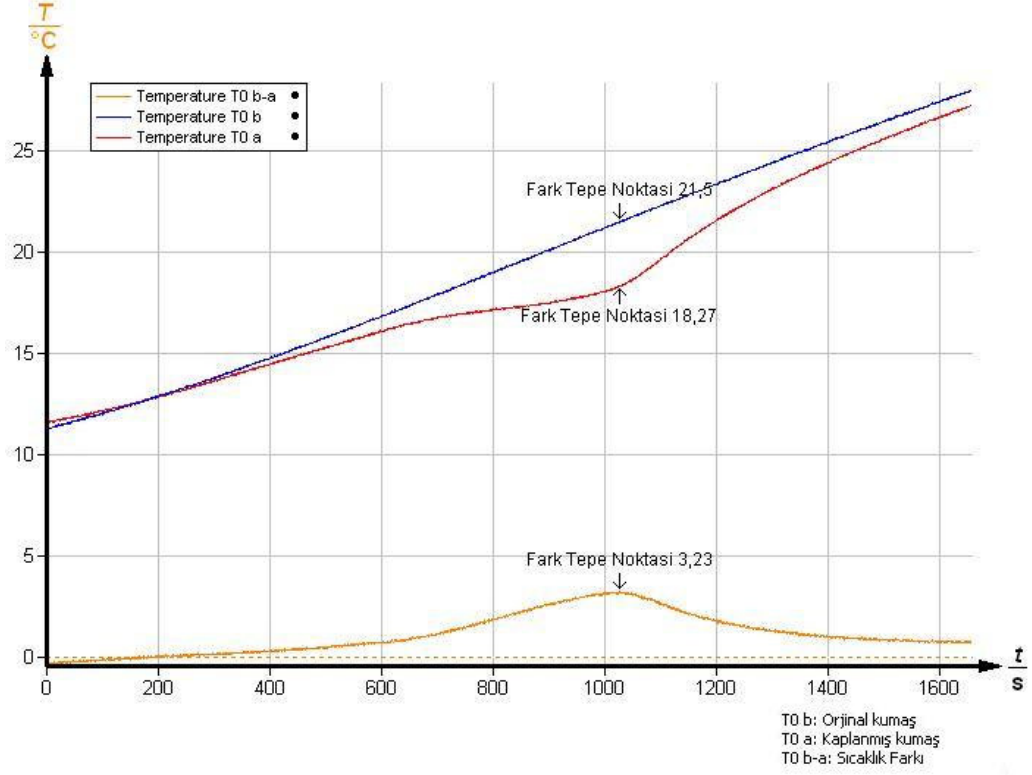
Şekil 5.17: CO1KAO13D1 (oran 1:1 %60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği



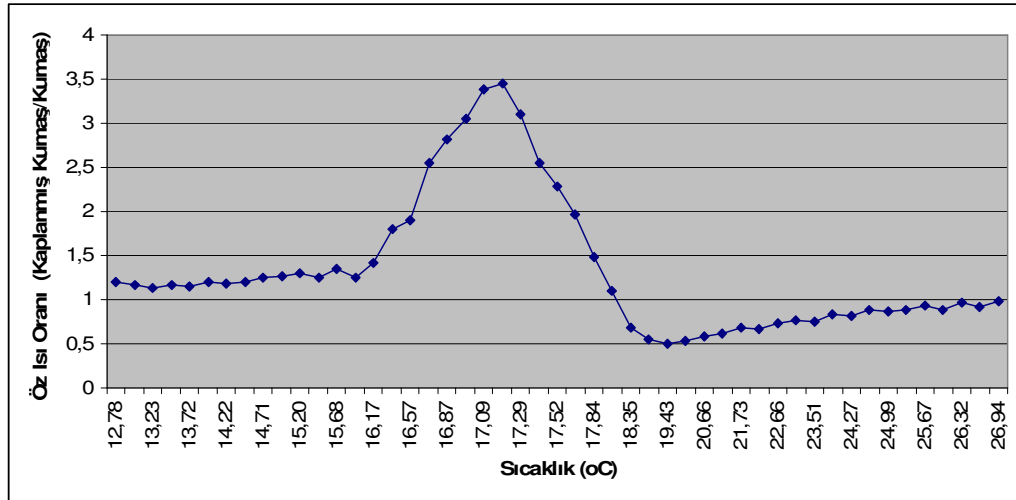
Şekil 5.18: CO1KAO13D1 (oran 1:1 %60 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı

Koaservat 13 ile 1:1 oranında kaplanmış kumaş ısınma grafiği incelendiğinde; kaplanmış kumaşın koaservatın içerdiği n-hekzadekanın faz değişim sıcaklık aralığında ısınmasının yavaşladığı görülmektedir. Bu yavaşlama öz ısı sıcaklık

grafiğinde artan öz ısı değeri ile de ispatlanmaktadır. Öz ısı grafiği değerlendirildiğinde kaplanmış kumaş için n-hekzadekanın faz değişim sıcaklık aralığında kumaşın öz ısı değerinin 2-2.5 kat arttığı görülmektedir.



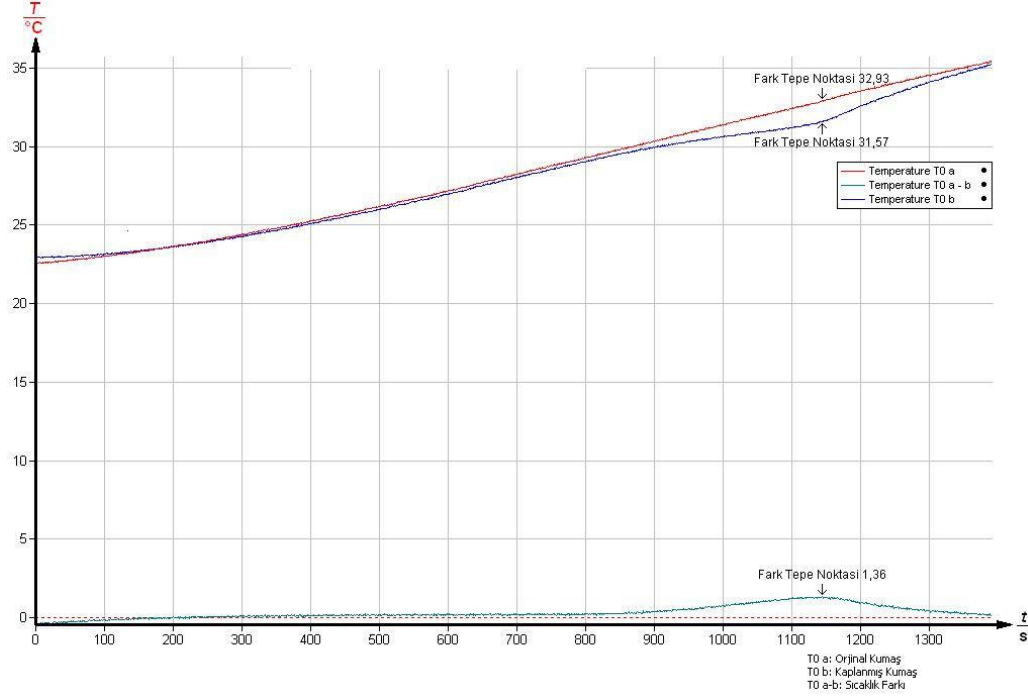
Şekil 5.19: CO2KAO13D2 (oran 1:1.5 %60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği



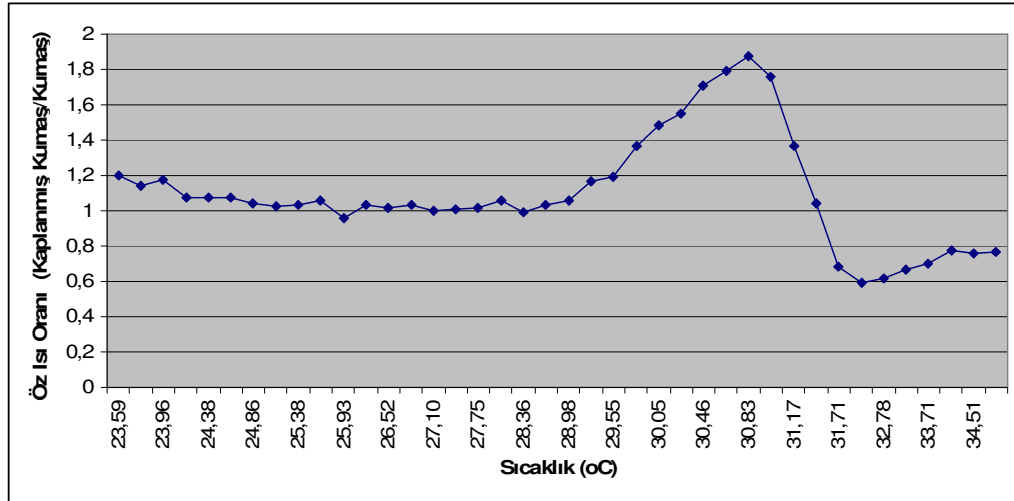
Şekil 5.20: CO2KAO13D2 (oran 1:1.5 %60 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı

Koaservat 13 ile 1:1,5 oranında kaplanmış kumaşın ısınma grafiği incelendiğinde; kaplanmış kumaşın koaservatın içerdiği n-hekzadekanın ısı sıcaklık grafiğine uygun

bir grafikte ısındığı belirlenmiştir. Öz ısı değerinin değişimi n- heksadekanın faz değişiminin başlamasıyla ilk değerinin 3-3.5 katına ulaşmıştır. Aynı Koaservatı farklı oranda içeren CO1KAO13D1 ile CO2KAO13D2 incelendiğinde gramaj farkı ve reçete ile hesaplanan katılma oranının öz ısı değerine doğru orantılı olarak yansıdığı tespit edilmiştir.

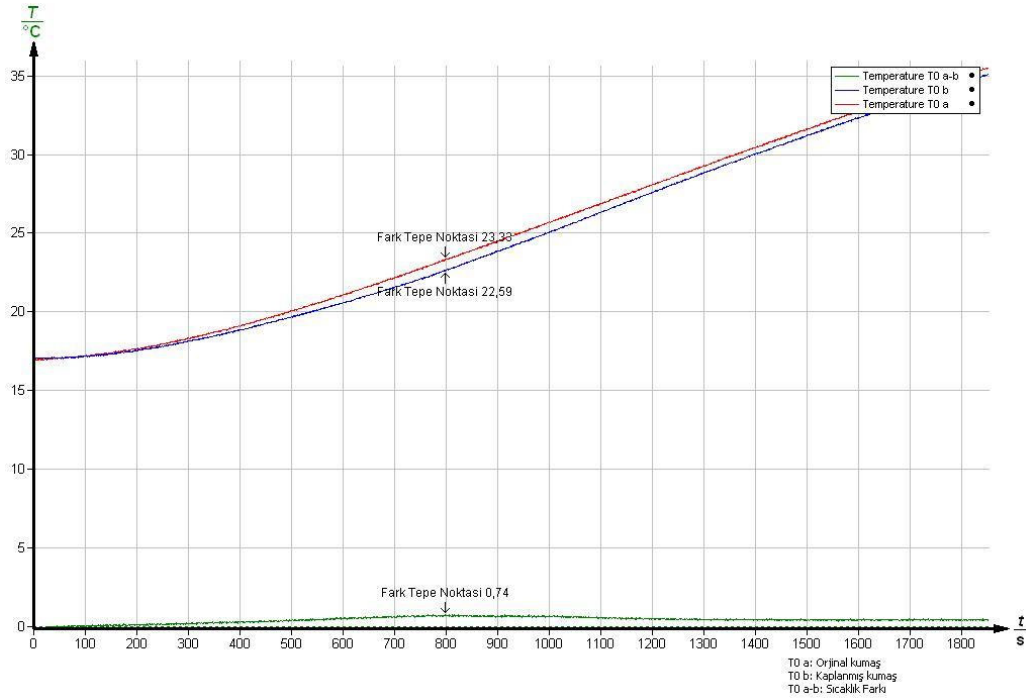


Şekil 5.21: CO3KAO11D1 (oran 1:1 %60 n-nonadekan) Isınma Grafiği

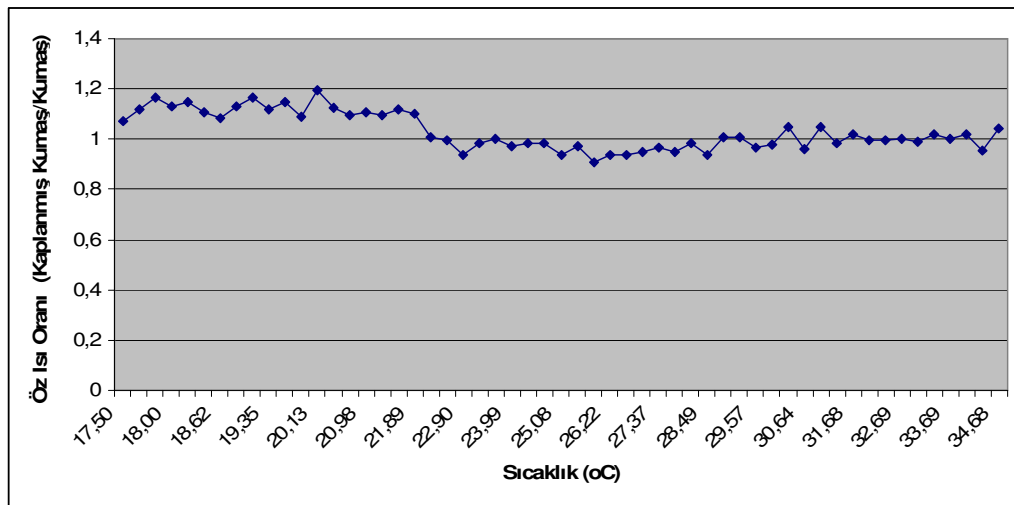


Şekil 5.22: CO3KAO11D1 (oran 1:1 %60 n-nonadekan) Öz Isı Oranı

Koaservat 11 ile 1:1 oranında kaplanmış kumaş numunesine ait ısınma grafiği incelendiğinde; n-nonadekanın ısınma grafiğine uygun olarak faz değişim sıcaklık değerleri arasında olan 31.57°C noktasında iki kumaş arası sıcaklık farkı tepe noktasına ulaşmıştır. Hesaplana öz ısı oranı grafiğinde de n-nonadekanın faz değişiminin gerçekleştiği sıcaklık aralığında kaplanmış kumaşın öz ısı değeri orijinal kumaşa göre 1.5-1.8 kat aralığın artışı gösterilmiştir.

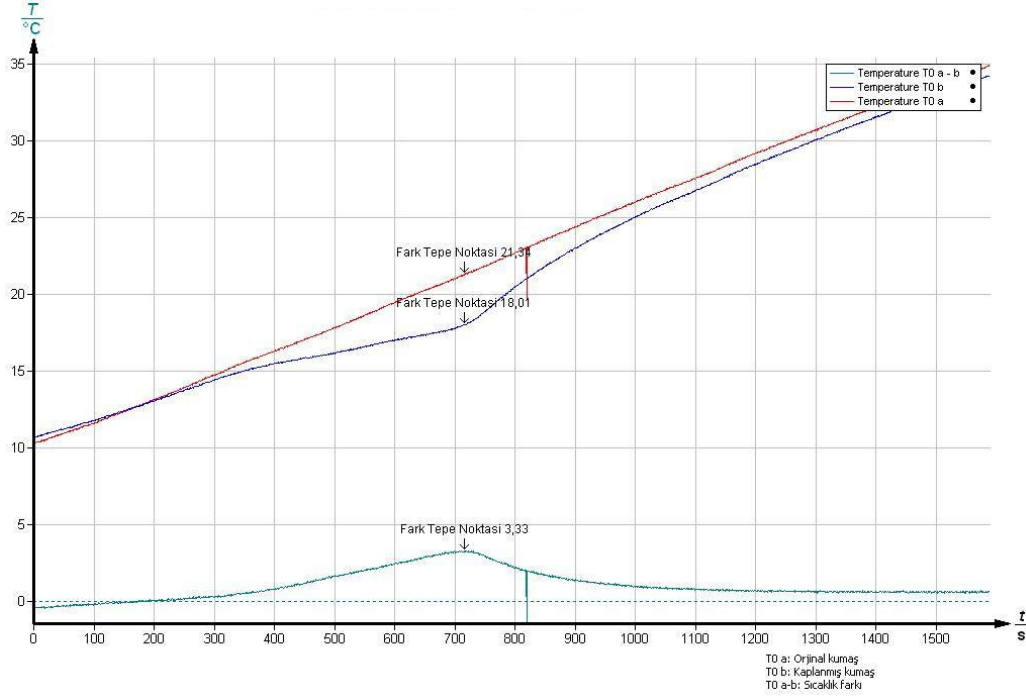


Şekil 5.23: CO4KAO8D1 (oran 1:1 %60 n-oktadekan) Isınma Grafiği

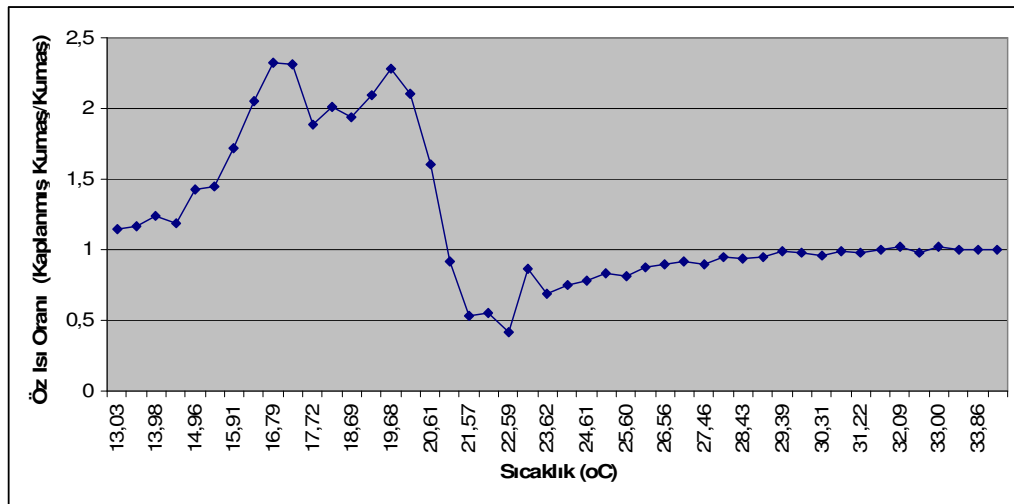


Şekil 5.24: CO4KAO8D1 (oran 1:1 %60 n-oktadekan) Öz Isı Oranı

Koaservat 8 ile 1:1 oranında kaplanmış kumaş numunesine ait ısınma grafiği incelendiğinde; koaservatın içerdiği oktadekanın faz değişim sıcaklık aralığında kaplanmış kumaş ile orijinal kumaş arasında 0.74°C fark oluşmasına karşın öz ısı grafiğine bu farkın yansması tespit edilememiştir. Bu durum Koaservat 8'in DSC analizlerinde saf n-oktadekana göre düşük çıkan faz değişim entalpi değeri ile açıklanabilir.

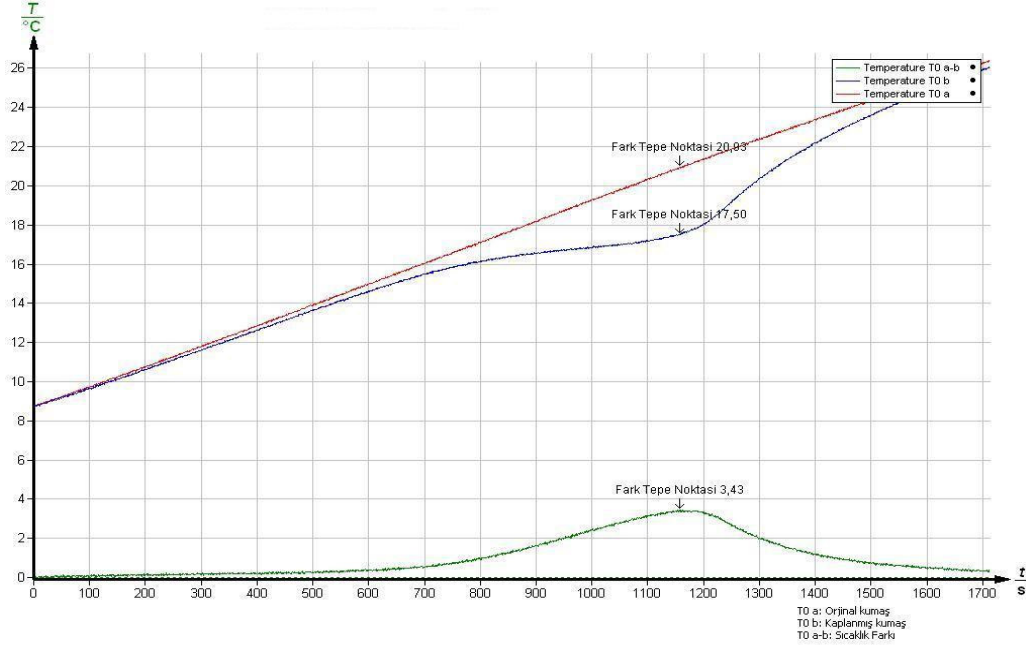


Şekil 5.25: CO5KAO17D1 (oran 1:1 %60 n-hekzadekan) Isınma Grafiği

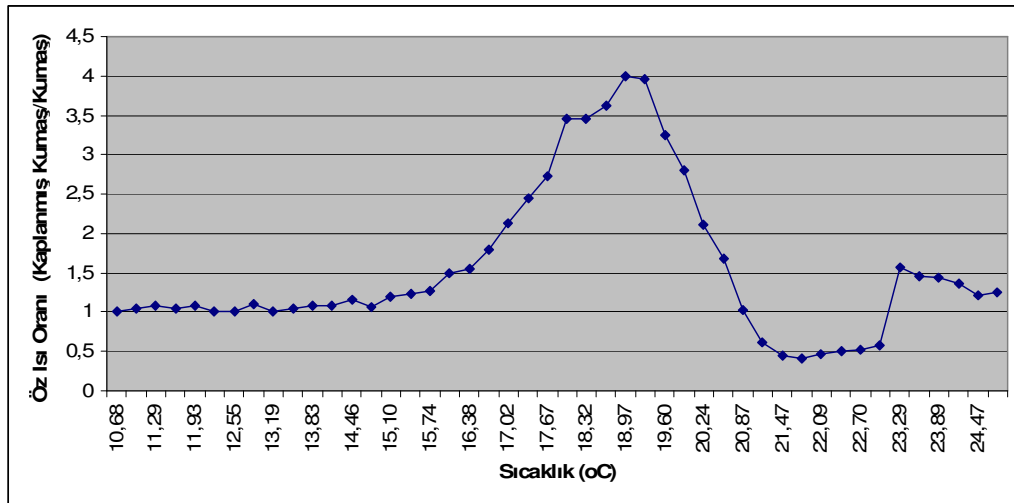


Şekil 5.26: CO5KAO17D1 (oran 1:1 %60 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı

Koaservat 17 ile 1:1 oranında kaplanmış kumaş numunesine ait ısınma grafiği incelendiğinde; koaservatın içerdiği n-hekzadekanın faz değişim sıcaklık aralığında kaplanmış kumaşın ısınmasının yavaşladığı ve orjinal kumaş ile arasında 3.33°C fark olduğu görülmektedir. Faz değişimin gerçekleştiği sıcaklık aralığında hesaplanan öz ısı değerlerine bakıldığında kaplanmış kumaşın öz ısı oranının 2-2.5 kat değerlerine ulaştığı belirlenmiştir.

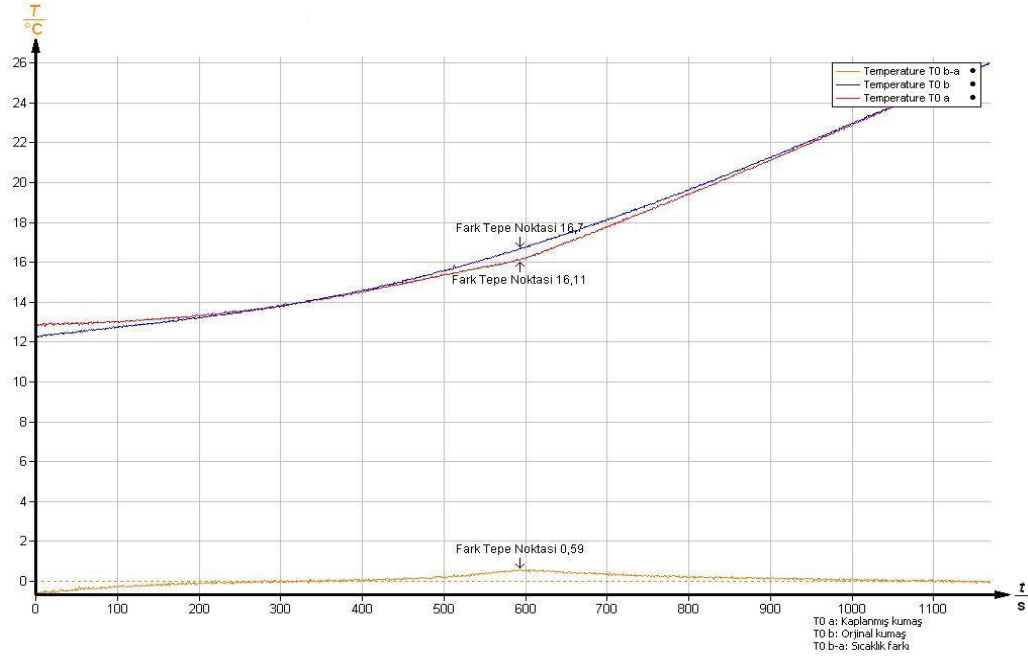


Şekil 5.27: CO6KAO6D1 (oran 1:1 %80 n-hekzadekan) Isınma Grafiği

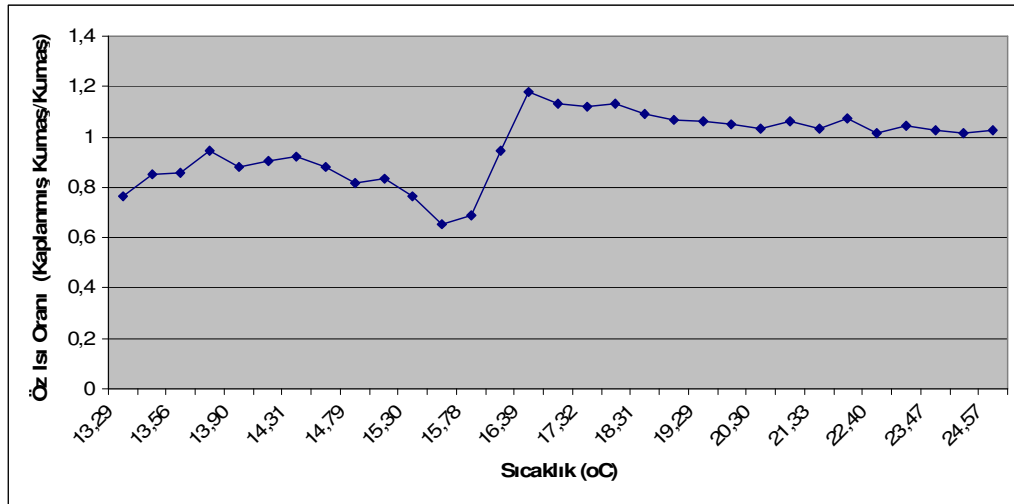


Şekil 5.28: CO6KAO6D1 (oran 1:1 %80 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı

CO6KAO6D1 numunesi ısıtılmasıyla elde edilen grafikte görüldüğü üzere kaplanan Koaservatın içerdiği n-hekzadekana uygun olarak kaplanmış kumaş ile orijinal kumaş arasında oluşan sıcaklık farkı, n-hekzadekanın faz değişimi sıcaklık aralığının içerisinde kalmaktadır. Oluşan bu sıcaklık farkının öz ısı grafiğindeki yanımsası sıcaklık farkının gerçekleşti sıcaklık değerinde öz ısı oranının 3.5-4 kat aralığına çıkması şeklinde oluşmuştur.

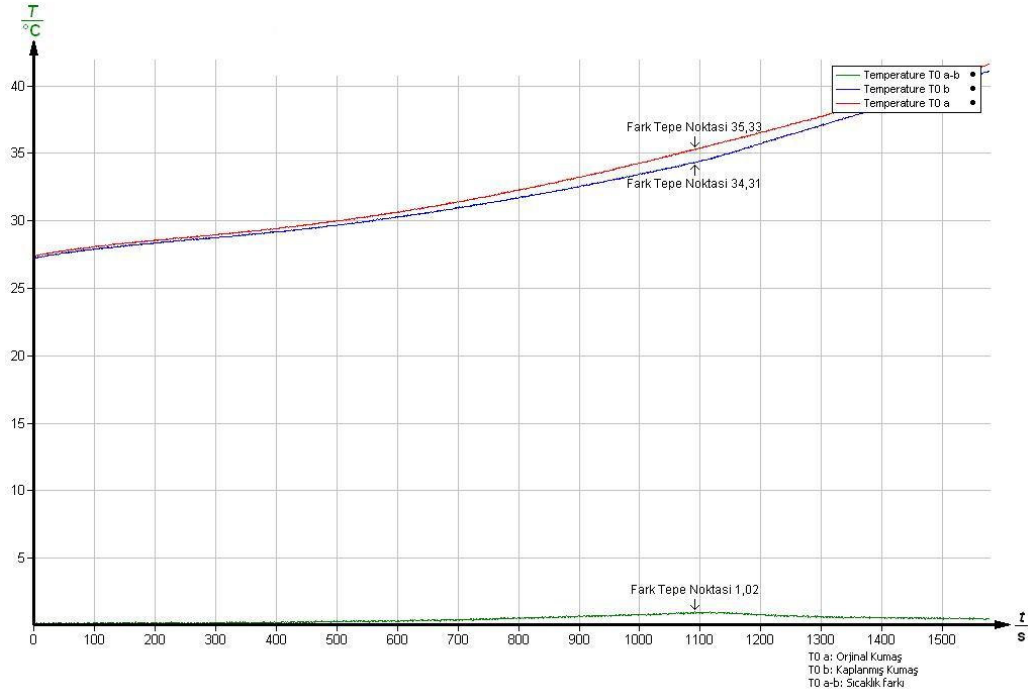


Şekil 5.29: CO7KAO16D1 (oran 1:1 %80 n-hekzadekan) Isınma Grafiği

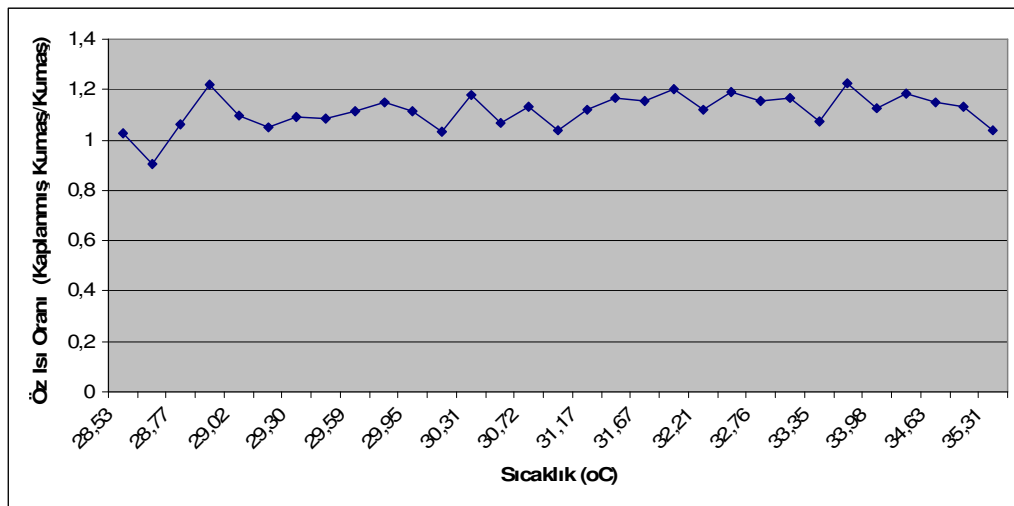


Şekil 5.30: CO7KAO16D1 (oran 1:1 %80 n-hekzadekan) Öz Isı Oranı

Koaservat 16 ile 1:1 oranın kaplanmış kumaş numunesinin ısınma grafiği incelendiğinde; koaservatın ısınma grafiğinde olduğu gibi hekzadekanın faz değişim sıcaklığı aralığının iki malzeme arasında sıcaklık farkı artırmıştır. İki numune arası sıcaklık farkının düşüklüğü öz ısı grafiğinde iki numune arasında ciddi bir öz ısı farkının oluşmamasından kaynaklanmaktadır



Şekil 5.31: CO8KAO15D1 (oran 1:1 %60 n-eykosan) Isınma Grafiği

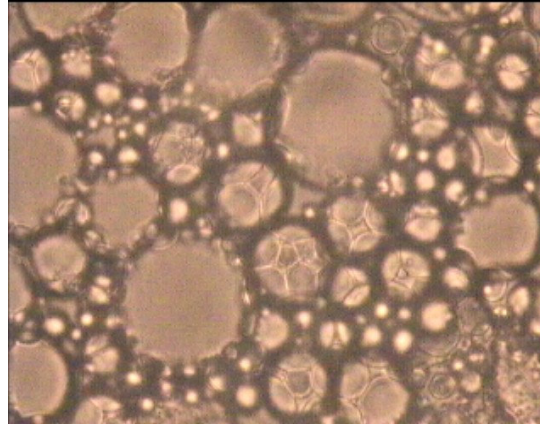


Şekil 5.32: CO8KAO15D1 (oran 1:1 %60 n-eykosan) Öz Isı Oranı

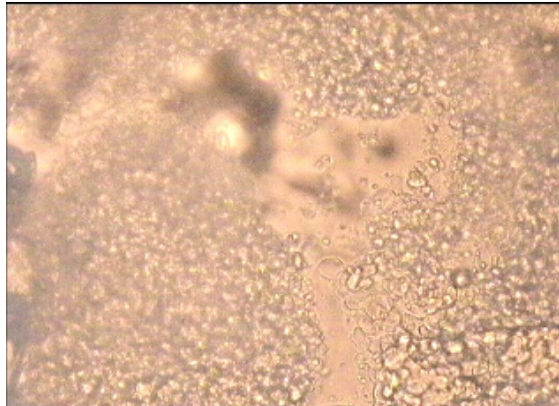
Koaservat 15 ile 1:1 oranında kaplanmış kumaş numunesi incelendiğinde; koaservatın içerdiği eykosanın ölçülen faz değişim sıcaklık aralığında kaplanmış kumaşın daha yavaş ısındığı ve iki kumaş arası 1.02 °C sıcaklık farkı olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan öz ısı oranlarına bakılınca oluşan bu farkın yansıması 1.2 oranında farkın düşüklüğü derecesinde düşük kalmıştır.

## 5.2 Optik Sonuçlar

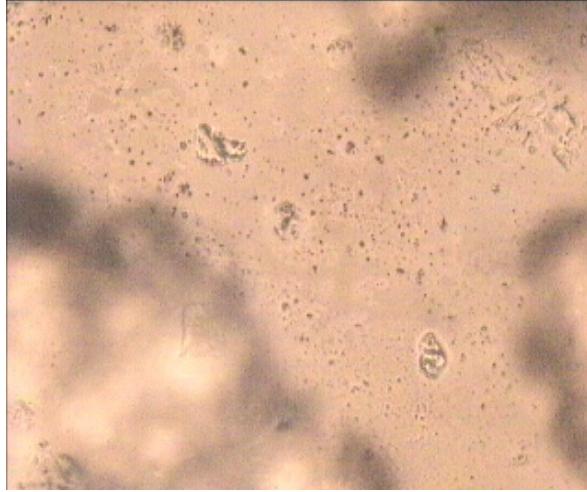
Mikroskop vasıtasıyla çekilen mikrokapsül görüntüleri Şekil 5.33, Şekil 5.33 ve Şekil 5.35’de verilmiştir. Görüntüler incelendiğine kontrol grubuna göre koaservat 6 ve Koaservat 11’de mikrokapsüller, içerdikleri FDM’ler ve kapsül duvarları ayırt edilebilecek şekilde gözükmemektedir.



**Şekil 5.33:** Koaservat 6 (%60 n-hekzadekan) Mikroskop Görüntüsü (büyütme oranı 10\*100)



**Şekil 5.34:** Koaservat 11 (%60 n-nonadekan) Mikroskop Görüntüsü (büyütme oranı 10\*40)



**Şekil 5.35:** Kontrol Grubu Koaservat Mikroskop Görüntüsü (büyütme oranı 10\*40)

### 5.3 Genel Değerlendirme

Isınma grafikleri incelendiğinde kompleks koaservasyonla yağ asitlerinin kapsüllendiği çalışmada olduğu gibi mikrokapsüllerin içerdikleri FDM cinsine göre belirli sıcaklıklar (FDM'lerin erime noktasında) ısınma hızlarının düştüğü belirlenmiştir. Mikrokapsül içerisinde ki FDM'nin faz dönüşümü bittikten sonra mikrokapsüllerin normal ısınma hızlarına dönerek sıcaklık değişimlerinin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. FDM miktarı arttıkça ısınma hızının düştüğü bu sürenin uzadığı ve suya karşı sıcaklık farkının yükseldiği tespit edilmiştir. Bu durum daha önce yapılan çalışmalarda üretilen FDM içeren mikrokapsüllerin sıcaklık artışı karşısında gösterdikleri karakter ile örtüşmektedir.

Koaservatların hesaplanan öz ısı değerleri dikkate alındığında numunelerin hapsedtikleri hidrokarbon miktarına göre öz ısı değerleri bölgesel farklılıklar göstermektedir. Öz ısıların arttığı bölgeler hidrokarbonlar için literatürde verilen ve deneysel kısımda ölçülen faz değiştirme bölgeleri ile örtüşmektedir. Artan öz ısı değerleri mikrokapsüllerin içerdikleri FDM cinsine belirlenen sıcaklık aralıklarında ısı yönetimine yardımcı olacağını göstermektedir. Isınma grafiklerine bakarak ortam sıcaklığına göre malzemenin daha düşük sıcaklık değerlerinde kaldığı tespit edilmiştir. Faz değiştirmenin doğasına uygun olarak aynı şekilde soğuyan bir ortamda malzemelerin ortama göre daha sıcak kalacakları öngörülebilir. Ara yüz polimerizasyonun kullanıldığı çalışma ile kıyaslandığında farklı FDM'lerin bir arada kullanıldığı mikrokapsüller kadar, bazı koaservatlarda daha fazla öz ısı değerleri elde

edilmiştir. Araba koltuklarında FDM kullanılan çalışmadan yola çıkarak bu mikrokapsüllerin faz değişim sıcaklık aralığında termal konfor sağlayacağını göstermektedir.

DSC analizlerinde mikrokapsüller için hesaplanan faz değişim entalpi değerleri literatürdeki FDM için verilen faz değişim entalpileri ile kıyaslandığında %70' e varan oranda FDM'nin mikrokapsül içerisine katıldığı gözükmemektedir.

Aynı FDM'yi içeren farklı koaservat numunelerinin ısınma grafikleri incelendiğinde faz değişim bölgelerinin FDM ile uyuşmasına karşın ısı performans açısından farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu durum hapsedilen madde miktarında değişim olduğunu göstermektedir.

Kaplanmış numunelerin ağırlıkları incelendiğinde %10-15 arası bir oran mikrokapsülün kumaş yapısına katıldığından söz edilebilir. Bu oranın entalpisi düşük çıkan numunelerde kaplanmış kumaşın ısınma hızına etkisinin çok düşük olduğu görülmüştür. Bu etkinin azlığı iki numune arası sıcaklık farkı grafiklerine yansıtılarak bu grafiklerin tepe noktaları düşük kalmıştır. Entalpisi yüksek numuneler ile kaplanan kumaşların ısınma hızlarında ki düşüş ve bu süre uzunluğu fazla olduğu iki numune arası sıcaklık farkının da yüksek olduğu belirlenmiştir.

Aynı malzemeye farklı oranlarda kaplanan numunelerde fazla malzeme ile kaplanan numunenin normal kumaşa göre belli bölgelerde daha yavaş ısındığı tespit edilmiştir. Bu yavaş ısınma ile Younsook Shin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada FDM miktarının artırılmasıyla soğurulan enerji miktarının artması örtüşmektedir.

Kaplanmış kumaşların içerdikleri Koaservat'ın öz ısılarına göre öz ısıları değerlendirildiğinde öz ısı yüksek Koaservat içeren kaplanmış kumaşların öz ısı oranları daha yüksek, öz ısı nispeten daha düşük çıkan Koaservat içeren numunelerde sıcaklık farkı yakalansa da kumaşların öz ısı oranları düşük çıkmıştır. Bu durum Koaservatların ısı performanslarının kumaşlara doğru orantılı bir biçimde aktarıldığını göstermektedir.

Kaplama sonucu hesaplanan öz ısı değerleri yalıtım açısından kumaşların FDM'lerin çalışma sıcaklığı olarak bilinen faz değiştirme sıcaklık aralığında öz ısı değerleri 2-5 kat oranında artırılmıştır. Genel olarak FDM içeren mikrokapsüllerin uyulandığı kumaşların termal performansının değerlendirmesinde soğurabileceği veya salıverebileceği enerji miktarı hesaplanır. Burdan yola çıkarak üretilen kumaşların 1

gramının sıcaklık değerinin bir derece artırılması için gereken enerjinin 2-5 kat aralığında artırıldığı ve bu sayede kumaşların ısı performanslarının artırıldığı ispatlanmıştır.

Kaplama sonrasında ısıtılan numunelerde lekeleme görülmemesi kaplama esnasında mikrokapsüllerin zarar görmediğini göstermektedir.

Bu alışma sonucu koaservasyon yöntemi ile FDM'lerin kapsllenebileceği ve farklı FDM'lerin farklı oranlarda kapsllenebileceği gösterilmiştir. İleriki çalışmalarda günlük kullanım açısından ihtiyaçların belirlenerek hangi cins FDM içeren mikrokapslin hangi oranda kullanılarak kumaşlara katılım oranını belirleyecek bir çalışma yapılarak uygulama sonrası konfor özelliklerinin değerlendirildiği ve kumaşların ilk görüntü özelliklerini koruyacak kaplama malzemesi üzerinde çalışılması gerektiği belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Lin M., Yang Y., Xi P. and Chen S.**, 2006. Microencapsulation of Water-Soluble Flame Retardant Containing Organophosphorus and its Application on Fabric, *Journal of Applied Polymer Science*, **102**, 4915–4920.
- [2] **Risch S.J., Reineccius G.A.**, 1989. Flavor Encapsulation, American Chemical Society, Washington DC, USA.
- [3] **Vandegear J. E.**, 1973. Microencapsulation, Plenum Pres, New York, USA.
- [4] **Versic J. R.**, 1988. Coservation for Flavor Encapsulation, *ACS Symposium Series*, **370**, 126-131
- [5] **Nelson G.**, 2002. Application of Microencapsulation in Textiles, *International Journal of Pharmaceutics*, **242**, 55–62.
- [6] **Wang C. X., Chen Sh. L.**, Aromachology and its Application in the Textile Field, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, **13**, 41-54.
- [7] <https://www.just-style.com/article.aspx?ID=92670>
- [8] **Xiaoming, T.**, 2001. Smart Fibres, Fabrics and Clothing, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK
- [9] This Sporting Life, 1998. Textile Month, **12**, 12-13
- [10] **Horrocks A.R. Anand S.**, 2003, Teknik Tekstiller El Kitabı, Türk Tekstil Vakfı, İstanbul, Türkiye.
- [11] <https://www.bayerleather.com>, Kasım 2006.
- [12] <https://www.merck.de>, Kasım 2006.
- [13] **Emek A.**, 2004. Teknik tekstiller ve dünya pazarı, Türkiye’ nin üretim ve ihracat imkanları, *Uzmanlık Tezi*, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, Ankara.
- [14] **Karakaş A.**, 2005. Sıcaklık ayarlı fonksiyonel kumaşların tasarlanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Somerville G.**, U.S.A. Patent no 3 015 128

- [16] <https://www.woolmark.com>, Ocak 2007.
- [17] **Sarıer N., Önder E.**, 2006. The Manufacture of Microencapsulated Phase Change Materials Suitable for the Design of Thermally Enhanced Fabrics, *Thermochimica Acta*, **452**, 149-160.
- [18] **Wein Breck F., Minor M., De Kruif C.G.**, 2004. Microencapsulation of Oils Using Whey Protein/Gum Arabic Coacervates, *Journal of Microencapsulation*, **21**, 667-679.
- [19] **Mayya K.S., Bahattacharyya A., Argillier J.F.**, 2003. Micro-encapsulation by Complex Coaservation Influence of Surfactant, *Polymer International*, **52**, 644-647.
- [20] **Vinetsky Y., Magdassi S.**, 1997. Microencapsulation by Surfactant- Gelatin Insoluble Complex: Effect of pH and Surfactant Concentration, *Journal of Colloid and Interface Science*, **189**, 83-91.
- [21] <http://www.ncapsulations.com>, Mayıs 2007.
- [22] **Shulkin A., Stöver D.H.H.**, 2002. Polymer Microcapsules by Interfacial Polyaddition Between Styrene Maleic Anhydride Copolymers and Amines, *Journal of Membrane Science*, **209**, 421-432.
- [23] **Khudhair Amar M., and Farid, Mohammed M.**, 2003. A Review on Energy Conservation in Building Applications with Thermal Storage by Latent Heat Using Phase Change Materials, *Energy Conversion and Management*, **45**, 263-275.
- [24] **Martel B., Morcellet M., Ruffin D., Vinet F. and Weltrowski L.**, 2002. Capture and Controlled Release of Fragrances, *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, **44**, 439-442.
- [25] **Önder Emel ve Sarier Nihal**, 2006. Ev Tekstillerinde Yüksek Teknoloji Uygulamaları, *Home Trend*, **1**, 48-55.
- [26] **Önder Emel and Sarier Nihal**, 2005. A Comparative Study of Thermally Enhanced Fabrics Based On the Microencapsulation Techniques Used, *Intelligent Ambience and Well-Being*, Tampere University of Technology, Finlandiya, 19-20 Eylül, s.14,20.
- [27] **JAHNS E.**, 2002. Microencapsulated PCM, BASF AG. Kunststofflaboratorium, s.25-30.
- [28] **Önder Emel and Sarier Nihal**, 2004. Improving Thermal Regulation Functions of Textiles, 4. *Autex World Textile Conference*, Roubaix, 22-24 Haziran, s. 12-13.
- [29] **Martel B., Morcellet M., Ruffin D., Vinet F. and Weltrowski L.**, 2002. Capture and Controlled Release of Fragrances, *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, **44**, 439-442.

- [30] **Bo-an Ying, Yi-lin Kwok, Yi Li, Qing-yong Zhu and Chap-yung Yeung,** 2004. Assessing The Performance of Textiles Incorporating Phase Change Materials, *Polymer Testing*, **23**, 541-549.
- [31] <https://www.phywe.de>, Aralık 2006.
- [32] **Zhang X., 2005.** Fabrication, structures and properties of nano/microencapsulated phase change materials thermo-regulated fibres and fabrics. *PhD Thesis*, Institute of Textile&Clothing Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.
- [33] **Y. Özönur, M. Mazman, H. Ö . Paksoy and H. Evliya,** 2006. Microencapsulation of Coco Fatty Acid Mixture for Thermal Energy Storage with Phase Change Material, *International Journal of Energy*, **30**, 741-749.
- [34] **Younsook Shin, Dong-Il Yoo, Kyunghee Son,** 2005. Development of Thermoregulating Textile Materials with Microencapsulated Phase Change Materials (PCM). IV. Performance Properties and Hand of Fabrics Treated with PCM Microcapsules, *Journal of Applied Polymer Science*, **97**, 910-915.
- [35] **Shim H., 1999.** The Use of phase change material in clothing. *Phd Thesis*, Kansas State University, Kansas.
- [36] **Pause Barbara,** 2002. Driving More Comfortably with Phase Change Materials, *Technical Textiles International*, **2**, 24.
- [37] **Bendkowska Wiesława, Tysiak Janusz, Grabowski Leszek, Blejzyk Albert,** 2005. *Determining Temperature Regulating Factor for Apparel Fabrics Containing Phase Change Material*, *International Journal of Clothing Science and Technology*, **17**, 209.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1980 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’na 2003 yılında başladı. Halen bu eğitime devam etmektedir.