

**BAZI YAĞ ASİTLERİ VE ÖTEKTİK KARIŞIMLARININ  
ENERJİ DEPOLAYICI MADDE OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Ahmet SARI**

98068

**DOKTORA TEZİ  
KİMYA ANABİLİM DALI**

**2000-TOKAT**

**T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI  
KİMYA ANABİLİM DALI**

**GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI YAĞ ASİTLERİ VE ÖTEKTİK KARIŞIMLARININ ENERJİ DEPOLAYICI  
MADDE OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Ahmet SARI  
DOKTORA TEZİ**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

Bu tez, 21/02/2000 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından Oybirliği / ~~Oy~~  
~~çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Unvanı, Adı ve Soyadı

imza

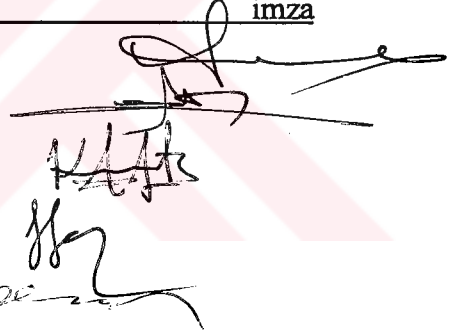
Başkan : Prof. Dr. Ayhan DEMİRBAŞ

Üye : Prof. Dr. Osman ÇAKMAK

Üye : Doç. Dr. Kamil KAYGUSUZ (DANIŞMAN)

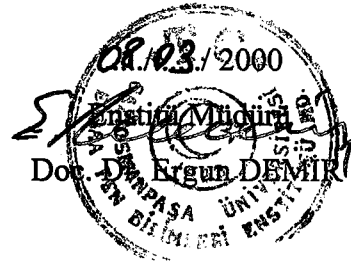
Üye : Yrd. Doç. Dr. Sevil SAVAŞKAN (YILMAZ)

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hayati SARI



**ONAY:**

Bu tez, 01/03/2000 tarih ve...05...sayılı Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen jüri üyelerince kabul edilmiştir.



**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANLARI MERKEZİ**

**ABSTRACT****INVESTIGATION OF USEABILITY OF SOME FATTY ACIDS AND  
EUTECTIC MIXTURES AS ENERGY STORAGE MATERIAL****Ahmet SARI****Gaziosmanpaşa University  
Graduate School of Natural and Applied Science****Ph.D. Thesis  
2000, 185 page****Supervisor : Doç. Dr. Kamil KAYGUSUZ****Jüry : Prof. Dr. Ayhan DEMİRBAŞ****Jüry : Prof. Dr. Osman ÇAKMAK****Jüry : Yrd. Doç. Dr. Sevil SAVAŞKAN (YILMAZ)****Jüry : Yrd. Doç. Dr. Hayati SARI**

In this study, the useability of Stearic acid ( $C_{18}H_{36}O_2$ , in 90 % purity), Palmitic acid ( $C_{16}H_{32}O_2$ , in 97 % purity) and Myristic acid ( $C_{14}H_{28}O_2$ , in 65,7 % ratio) and Stearic acid ( $C_{18}H_{36}O_2$ , in 34,3 % ratio) eutectic mixture as energy storage material were investigated experimentally. In the system which is made for this aim (Figure 3.3-4), phase change stability and thermal performance of each fatty acid and eutectic mixture as phase change material (PCM) were determined experimentally and the obtained results were compared with the given in the literature ones. In experiments, water was used as a heat transfer fluid and a simple copper tube-in tube system was used as a heat exchanger (Figure 3.1-3.2). Determination of melting and solidification temperature (or temperature range), times and heat flow rate effect on the phase change stability for each of PCM's consist main section of the investigation. In other section of the study, melting and solidification behaviours related to inlet water temperature and flow rate were investigated in different radial and axial points of PCM. Melting and solidification behaviours of those material were studied in different heat exchanger positions (vertical and horizontal) in the final stage. In addition, Heat flow rate and heat efficiency of heat exchanger (approximately 52,7 %) for each period were calculated. The Obtained all data were plotted versus time as shown in Figures 4.1-169. As a result, We have opinion that each of those materials which have desired the phase change features (except of subcooling state of Stearic Acid) will be safely used at any energy storage system which is required of high thermal performance.

**Key words:** Fatty acid, eutectic mixture, energy storage, phase change material

**ÖZET****BAZI YAĞ ASİTLERİ VE ÖTEKTİK KARIŞIMLARININ ENERJİ DEPOLAYICI MADDE OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ****Ahmet SARI****Gaziosmanpaşa Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı****Doktora Tezi  
2000, 185 Sayfa****Danışman : Doç. Dr. Kamil KAYGUSUZ****Jüri : Prof. Dr. Ayhan DEMİRBAŞ****Jüri : Prof. Dr. Osman ÇAKMAK****Jüri : Yrd. Doç. Dr. Sevil SAVAŞKAN (YILMAZ)****Jüri : Yrd. Doç. Dr. Hayati SARI**

Bu çalışmada, Stearik asit ( $C_{18}H_{36}O_2$ , % 90 saflıkta), Palmitik asit ( $C_{16}H_{32}O_2$ , % 97 saflıkta), Miristik asit ( $C_{14}H_{28}O_2$ , % 65,7 oranında) ve Stearik asit ( $C_{18}H_{36}O_2$ , % 34,3 oranında) ötektik karışımının enerji depolayıcı madde olarak kullanılabilirliği deneysel olarak incelendi. Bu amaçla oluşturulan sistemde (Şekil 3.3 - 4), enerji depolayıcı madde olarak her bir yağ asiti ve ötektik karışımın faz değişim kararlılığı ve termal performansı deneysel olarak tayin edildi ve elde edilen bulgular literatür sonuçlarıyla karşılaştırıldı. Deneylerde, ısı transfer akışkanı olarak; su, ısı değiştiricisi olarak; bakır malzemeden yapılmış iç içe geçmiş basit bir tüp sistemi kullanıldı (Şekil 3.1-3.2). Her bir faz değişim maddesi için (FDM) erime ve katılaşma sıcaklığı (veya aralığı), süreleri ve ısı akış hızının faz değişim kararlılığı üzerindeki etkisinin incelenmesi, çalışmanın ana kısmını oluşturmaktadır. Araştırmanın diğer kısmında, giriş su sıcaklığında ve akış hızındaki değişime bağlı olarak FDM'nin farklı radyal ve aksel noktalarındaki erime ve katılaşma davranışları incelendi. Çalışmanın son safhasında ise, farklı ısı değiştirici pozisyonlarında (dikey ve yatay) maddelerin radyal ve aksel yönlerdeki erime ve katılaşma davranışları incelendi. Ayrıca, her bir periyot için ısı akış hızları, ısı değiştiricisinin ısı depolama verimliliği (yaklaşık olarak % 52,7) hesaplandı. Elde edilen tüm bulgular Şekil 4.1-169'da görüldüğü gibi zamana karşı grafiğe geçirildi. Sonuç olarak; istenilen faz değişim özelliklerini (Stearik asitteki aşırı soğuma hali dışında) taşıyan bu maddelerin herbirinin yüksek ısıl performans gerektiren herhangi bir enerji depolama sisteminde güvenle kullanılabileceği görüşüne varıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Yağ asiti, ötektik karışım, enerji depolama, faz değiştiren madde

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her safhasında gerek bilgi, fikir ve gerekse literatür temini konusunda her türlü desteği sağlayan, yol gösteren ve tez yazımında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın; Doç. Dr. Kamil KAYGUSUZ'a şükran ve hürmetlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin oluşturulmasında bilgisi ve becerisini benden esirgemeyen bölümümüz öğretim elemanlarından Uzman Tahsin ÜNLÜ'ye;

Bu çalışmayı proje olarak destekleyen Gaziosmanpaşa Üniversitesi ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fon Saymanlığına ve personeline;

Tezde yer alan grafiklerin ve şekillerin çiziminde ve tez yazımı süresince yardımlarını gördüğüm bölümümüz öğretim elemanlarından, Yrd. Doç. Dr. Hayati SARI, Arş. Gör. Ömer İŞILDAK ve Uzman Yakup BUDAK'a;

Doktora öğrenimim süresince her türlü manevi desteklerini aldığım başta Kimya Bölüm Başkanı; Prof. Dr. Osman ÇAKMAK olmak üzere, Doç. Dr. Adem ÖNAL, Yrd Doç Dr. Bülent BÜYÜKKIDAN, Yrd Doç Dr. Mustafa TÜZEN'e ve bölümümüzün diğer tüm elemanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca, tüm çalışmalarım boyunca büyük bir sabır ve anlayışla bana daima destek ve moral veren sevgili eşime sevgi ve şükranlarımı sunarım.

**İÇİNDEKİLER**

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	5
2.1. Enerji Depolamada Arz ve Talep Dengesi.....	5
2.2. Güneş Enerjisinin Isı Şeklinde Depolanması.....	7
2.2.1. Enerjinin Duyulur Isı Şeklinde Depolanması.....	8
2.2.2. Sıvı Ortamda Isı Depolama.....	9
2.2.3. Katı Ortamda Isı Depolama.....	11
2.2.4. İkili Ortamda Isı Depolama.....	14
2.3. Enerjinin Gizli Isı Şeklinde Depolanması.....	15
2.3.1. Gizli Isı Enerji Depolamanın Esasları.....	16
2.3.2. Gizli Isı Depolayan Bir Sistemin Kullanımı.....	17
2.3.3. Faz Değiştiren Maddeler (FDM).....	18
2.3.3.1. Tuz Hidratlar.....	19
2.3.3.2. Parafinler.....	21
2.3.3.3. Parafin Olmayan Organik Maddeler.....	23
2.3.3.4. Ötektik Karışımlar.....	24
2.3.3.4.1. Ötektik Tuz Karışımları.....	25
2.3.4. Gizli Isı Depolama Maddelerinin Seçimi.....	25
2.3.4.1. Faz Dönüşüm Sıcaklığı.....	26
2.3.4.2. Füzyon Isısı.....	26
2.3.4.3. Faz Ayrımı.....	27

2.3.4.4. FDM'nin Doldurulduğu Kap (veya kapsül).....	27
2.3.4.5. Yoğunluk.....	27
2.3.4.6. Aşırı Soğuma ve Kristal Büyümesi.....	27
2.3.4.7. Kimyasal Kararlılık ve Uygunluk.....	28
2.3.4.8. Güvenlik .....	28
2.3.4.9. Ekonomi (Maliyet).....	29
2.4. Termokimyasal Depolama.....	29
2.5. Faz Değişim Maddeleri İçin Isı Değiştiriciler.....	31
2.5.1. Pasif Isı Değiştiriciler.....	32
2.5.2. Aktif Isı Değiştiriciler.....	33
2.5.3. Direk Temaslı ısı Değiştiriciler.....	34
2.6. Isı Transferine Genel Bir Bakış.....	35
2.6.1. Düzlem Sistemlerde Isı Transferi.....	35
2.6.2. Silindirik Sistemlerde Isı Transferi.....	37
2.6.3. Küresel Sistemlerde Isı Transferi.....	38
2.6.4. Toplam Isı transfer Katsayısı.....	39
2.6.4.1. Düzlem Bir Duvar Sistemi İçin Toplam Isı Transfer Katsayısı.....	39
2.6.4.2. Radyal Sistemler İçin Toplam Isı Transfer Katsayısı.....	41
2.6.5. Isı Transfer Yüzeyi.....	42
2.6.6. Akışkan Akımın Ortalama Sıcaklığı.....	43
2.7. Faz Değişimiyle Enerji Depolamada Isı Transferi ve Isı Transfer Problemleri Üzerine Genel Bir Bakış.....	43
3. MATERYAL ve METOD.....	45
3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Materyaller.....	45
3.1.1. Deneysel Çalışmalarda FDM Olarak Kullanılan Kimyasallar.....	45
3.1.2. Deney Düzenegi.....	45
3.1.2.1. Isı Değiştiricisi (ID).....	45
3.1.2.2. Termorezistanslar.....	46
3.1.2.3. Dijital Sıcaklık Ölçer (Termometre).....	46
3.1.2.4. Sıcaklık Tarayıcı Cihaz.....	46
3.1.2.5. Akışmetre.....	47

3.1.2.6. Sıcaklık Kontrol Aleti.....	47
3.1.2.7. Isıtıcılar.....	48
3.1.2.8. Sirkülasyon Pompası.....	48
3.1.2.9. Su Banyoları ve Diğer Elemanlar.....	48
3.1.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Analiz Teknikleri.....	51
3.1.3.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analiz Tekniği.....	52
3.1.3.1.1. Füzyon Entalpisi ve Erime Noktası (veya aralığı).....	53
3.2. Deneysel çalışmalar.....	54
3.2.1. Deney Sisteminin Kalibrasyonu.....	54
3.2.2. Deneyler.....	55
4. DENEY SONUÇLARI.....	59
4.1. Stearik Asit İçin Faz Dönüşüm Eğrileri ve Isı Transfer Bulguları .....	59
4.2. Palmitik Asit İçin Faz Dönüşüm Eğrileri ve Isı Transfer Bulguları .....	76
4.3. Miristik Asit ve Stearik Asit Ötektik Karışımı İçin Faz Dönüşüm Eğrileri ve Isı Transfer Bulguları .....	120
5. TARTIŞMA.....	144
5.1. Erime Eğrileri.....	144
5.2. Katılma Eğrileri.....	146
5.3. Faz Dönüşüm Sıcaklığı ve Süresi.....	147
5.4. Isı Transfer Akışkanının Giriş Sıcaklığındaki Değişim.....	149
5.5. Isı Transfer Akışkanının (Suyun) Sirkülasyon Hızı (Debisi).....	150
5.6. Isı Akış Hızı, Isı fraksiyonu ve Isı Değiştiricisi (ID) Verimliliği.....	150
6. ÖNERİLER.....	153
KAYNAKLAR.....	154
EKLER.....	157
EK 1. Stearik Asitin Faz Değişim Deneylerine Ait Sıcaklık Bulguları.....	157
EK 2. Palmitik Asitin Faz Değişim Deneylerine Ait Sıcaklık Bulguları.....	168
EK 3. Miristik Asit ve Stearik Asit Ötektik Karışımının Faz Değişim Deneylerine Ait Sıcaklık Bulguları.....	178
ÖZGEÇMİŞ.....	185



## ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. 1971-1995 Yılları arasında dünyanın enerji kaynaklarındaki tüketim istatistiği.....	1
1.2. 1991-1995 Yılları arasında ülkemizin enerji kaynaklarındaki tüketim istatistiği.....	2
2.1. Sabit bir enerji kaynağı ve enerji talebini gösteren pik.....	5
2.2. Sabit enerji talebi ve değişken enerji kaynağı.....	6
2.3. Değişen enerji arz ve talebi, arz-talep denklığı.....	6
2.4. Dolgulu yatak ısı depolama sistemi.....	14
2.5. İkili (hibrit) duyulur ısı depolama sistemleri.....	15
2.6. Faz değiştiren ısı depolama maddelerinin sınıflandırılması.....	19
2.7. Modüler boyutlu ısı esanjörünün boyutları.....	32
2.8. Aktif bir ısı depolama sistemi.....	33
2.9. Direk temaslı ve karışmayan akışkanlı bir ısı değiştiricisinin kullanıldığı bir ısı depolama sistemi.....	34
2.10. Üç tabakalı düzlem bir duvardan tek boyutlu ısı transferi ve elektriksel analoğu.....	35
2.11. Çok tabakalı bir duvardan tek boyutlu ısı transferi.....	36
2.12. Silindirik bir sistemdeki ısı akışı ve elektriksel analoğu.....	37
2.13. Çok tabakalı bir silindirde ısı akışı ve elektriksel analoğu.....	39
2.14. İki akışkan arasında yer alan homojen düzlem bir duvar ile akışkanlar arasındaki ısı transferi ve elektriksel analoğu.....	40
2.15. Radyal bir sistemde ısı transferi ve elektriksel analoğu.....	41
3.1. Isı değiştiricisinin genel görünümü ve tremorezistansların yerleşim düzeni.....	49
3.2. Isı değiştiricisi ve akışmetreye ait fotoğraf görüntüsü.....	49
3.3. Deney düzeneğinin genel görüntüsü.....	50
3.4. Deney düzeneğinin fotoğraf görüntüsü.....	50
3.5. Stearik asit'e ait DSC eğrisi.....	52
3.6. Palmitik asit'e ait DSC eğrisi.....	52
3.7. Ötektik karışım (%65,7 miristik asit + %34,3 stearik asit) için DSC eğrisi.....	53

3.8. Akışmetre için kalibrasyon grafiği.....	55
4.1. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.).....	59
4.2. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.).....	59
4.3. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.).....	60
4.4. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.).....	60
4.5. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	61
4.6. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100 mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.).....	61
4.7. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	62
4.8. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100 mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	62
4.9. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 81°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	63
4.10. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100 mm, suyun giriş sıcaklığı:81°C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.).....	63
4.11. Stearik sit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, suyun giriş sıcaklığı:74°C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.).....	64
4.12. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 81°C ve suyun akış debisi:3kg/dak.).....	64
4.13. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	65
4.14. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	65
4.15. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	66

4.16. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	66
4.17. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	67
4.18. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.).....	67
4.19. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	68
4.20. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	68
4.21. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	69
4.22. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	69
4.23. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 81 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	70
4.24. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 81 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.).....	70
4.25. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı radyal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:74 °C ve suyun akış debisi: 3kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda).....	71
4.26. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı radyal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74°C ve suyun akış debisi: 3kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda).....	71
4.27. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı radyal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74°C ve suyun akış debisi: 3kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda).....	72
4.28. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı ısı değiştirici konumundaki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:74°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	72
4.29. Stearik asit'in farklı debilerdeki erime profili.....	73
4.30. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki erime profili.....	73

4.31. Stearik asit'in farklı debilerdeki erime profili (Termorezistans:T8).....	74
4.32. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 71,2 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	74
4.33. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 70,2 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	75
4.34. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 68 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	75
4.35. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 71 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	76
4.36. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 69,3 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	76
4.37. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 70 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	77
4.38. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 70,4 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	77
4.39. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı: 70,9 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	78
4.40. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:70 °C, suyun giriş sıcaklığı: 34 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	78
4.41. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı:70 °C, suyun giriş sıcaklığı:34 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	79
4.42. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, ortalama depolama sıcaklığı:69,3°C, suyun giriş sıcaklığı:45.5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	79

4.43. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı:70,3°C, Eksenel mesafe:100 mm, suyun giriş sıcaklığı:45,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	80
4.44. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,3°C, suyun giriş sıcaklığı:41,5°C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.).....	80
4.45. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 71,3°C, suyun giriş sıcaklığı:41,5°C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.).....	81
4.46. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,1°C, suyun giriş sıcaklığı:41,5°C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.).....	81
4.47. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 71,6 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.).....	82
4.48. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,3 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.).....	82
4.49. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 72 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	83
4.50 Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 72,5°C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	83
4.51. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 73°C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	84
4.52. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,3 °C, suyun giriş sıcaklığı: 34 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	84
4.53. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 72 °C, suyun giriş sıcaklığı: 34 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	85

4.54. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı:70,1°C, suyun giriş sıcaklığı:45,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	85
4.55. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 72 °C, suyun giriş sıcaklığı: 45,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	86
4.56. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı radyal yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda).....	86
4.57. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda).....	87
4.58. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda).....	87
4.59. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda).....	88
4.60. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı ısı değiştirici konumundaki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	88
4.61. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı debilerdeki sıcaklık profili.....	89
4.62. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki katılma periyoduna ait sıcaklık profili.....	89
4.63. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı debilerdeki sıcaklık profili.....	90
4.64. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı debilerdeki sıcaklık profili.....	90
4.65. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki katılma periyoduna ait sıcaklık profili.....	91
4.66. Stearik asit'in farklı sürelerdeki radyal yöndeki sıcaklık profili.....	91
4.67. Stearik asit'in farklı sürelerdeki aksel yöndeki sıcaklık profili.....	92
4.68. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki ve radyal yöndeki erime süreleri.....	92

4.69. Stearik asit'in farklı debilerdeki ve radyal yöndeki erime süreleri.....	93
4.70. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki ve radyal yöndeki katılma süreleri.....	93
4.71. Stearik asit'in farklı debilerdeki ve radyal yöndeki katılma süreleri.....	94
4.72. Stearik asit'in erime periyodu süresince gerçekleşen ısı akış hızları (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	94
4.73. Stearik asit'in katılması süresince FDM'den çekilen ısının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.).....	95
4.74. Stearik asit'in erime (ısı yükleme) ve katılma (ısı boşaltma) periyotlarına ait ısı fraksiyonlarının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı:78 °C / 38 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.).....	95
4.75. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.).....	96
4.76. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.).....	96
4.77. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.).....	97
4.78. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.).....	97
4.79. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	98
4.80. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	98
4.81. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	99
4.82. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	99
4.83. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 76 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	100

4.84. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı:76 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	100
4.85. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, suyun giriş sıcaklığı:80,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.).....	101
4.86. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100 mm, suyun giriş sıcaklığı:80,5 °C ve suyun akış debisi: 3kg/dak.).....	101
4.87. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 80,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak. ısı değiştirici YATAY konumda).....	102
4.88. Palmitik asit'in farklı su akış debilerdeki erime profili .....	102
4.89. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki erime profili.....	103
4.90. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	103
4.91. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	104
4.92. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	104
4.93. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	105
4.94. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	105
4.95. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.).....	106
4.96. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.).....	106



4.97. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun debisi: 6 kg/dak.).....	107
4.98. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	107
4.99. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	108
4.100. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 47 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	108
4.101. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 47 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....	109
4.102. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak, ısı değiştirici YATAY konumda ) .....	109
4.103. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:38°C ve suyun akış debisi:1,2kg/dak.).....	110
4.104. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:38°C ve suyun akış debisi:2,5kg/dak.).....	110
4.105. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:38°C ve suyun akış debisi: 3kg/dak.).....	111
4.106. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:38°C ve suyun akış debisi:6 kg/dak.).....	111
4.107. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:42°C ve suyun akış debisi:2,5kg/dak.).....	112
4.108. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:47°C ve suyun akış debisi2,5 kg/dak.).....	112
4.109. Palmitik asit'in farklı su akışdebilerdeki katılaşma profili.....	113
4.110. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki katılaşma profili.....	113

4.111. Palmitik asit'in erime periyoduna ait farklı sürelerdeki ve radyal yöndeki sıcaklık profili.....	114
4.112. Palmitik asit'in erime periyoduna ait farklı sürelerdeki ve radyal yöndeki sıcaklık profili.....	115
4.113. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki ve eksenel yöndeki erime süreleri.....	115
4.114. Palmitik asit'in farklı su akış debilerdeki ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....	116
4.115. Palmitik asit'in farklı su akış debilerdeki ve radyal yöndeki erime süreleri.....	116
4.116. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki ve radyal yöndeki erime süreleri.....	117
4.117. Palmitik asit'in farklı su akış debilerdeki ve radyal yöndeki katılma süreleri.....	117
4.118. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki ve radyal yöndeki katılma süreleri .....	118
4.119. Palmitik asit'in erime periyodu süresince gerçekleşen ısı akış hızları (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	118
4.120. Palmitik asit'in katılması süresince FDM'den çekilen ısının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.).....	119
4.121. Palmitik asit'in erime (ısı yükleme) ve katılma (ısı boşaltma) periyotlarına ait ısı fraksiyonlarının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı:78°C/38 °C ve suyun akış debisi: 1.2 kg/dak.).....	119
4.122. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 1 kg/dak.).....	120
4.123. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 1 kg/dak.).....	120
4.124. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.).....	121
4.125. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.).....	121

- 4.126. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 2 kg/dak.).....122
- 4.127. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:68 °C ve suyun akış debisi: 2 kg/dak.).....122
- 4.128. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.) .....123
- 4.129. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.).....123
- 4.130. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 65 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.).....124
- 4.131. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:65 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.) .....124
- 4.132. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 70 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.) .....125
- 4.133. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:70 °C ve suyun akış debisi: 1,3kg/dak.).....125
- 4.134. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....126
- 4.135. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....126
- 4.136. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....127
- 4.137. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....127
- 4.138. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....128

- 4.139. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (ısı değiştirici YATAY konumunda) .....128
- 4.140. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait farklı ısı değiştirici konumlarındaki sıcaklık profili.....129
- 4.141. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının farklı su giriş sıcaklıklarındaki erime profili.....129
- 4.142. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akışn debilerindeki erime profili.....130
- 4.143. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili ( Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:57,6 °C ve suyun akış debisi:1kg/dak.) .....130
- 4.144. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı:57,3 °C ve suyun akış debisi:1kg/dak.).....131
- 4.145. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:58,9°C ve suyun akış debisi:1,3 kg/dak.).....131
- 4.146. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı:59,6 °C ve suyun akış debisi:1,3kg/dak.).....132
- 4.147. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:57,6 °C ve suyun akış debisi: 2 kg/dak.).....132
- 4.148. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı:57,3 °C ve suyun akış debisi:2kg/dak.).....133
- 4.149. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:58,9 °C, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi:1.3kg/dak.).....133

4.150. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100mm, ortalama depolama sıcaklığı: 59,9 °C, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi:1.3kg/dak.).....	134
4.151. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....	134
4.152. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....	135
4.153. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....	135
4.154. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili.....	136
4.155. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait eksenel yöndeki sıcaklık profili (Isı değiştirici YATAY konumda).....	136
4.156. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait farklı ısı değiştirici konumlarındaki sıcaklık profili.....	137
4.157. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı giriş sıcaklıklarındaki katılma profili.....	137
4.158. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerindeki katılma profili.....	138
4.159. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı sürelerde ve radyal yöndeki erime sıcaklık profili.....	138
4.160. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı sürelerde ve eksenel yöndeki erime sıcaklık profili.....	139
4.161. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su giriş sıcaklıklarında ve radyal yöndeki erime süreleri.....	139
4.162. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerindeki ve radyal yöndeki erime süreleri.....	140
4.163. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su giriş sıcaklıklarında ve eksenel yöndeki erime süreleri.....	140

- 4.164. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerdeki ve aksel yöndeki erime süreleri.....141
- 4.165. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerinde ve radyal yöndeki erime süreleri.....141
- 4.166. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerinde ve aksel yöndeki erime süreleri.....142
- 4.167. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının erime periyodu süresince gerçekleşen ısı akış hızları (suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.).....142
- 4.168. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşması süresince FDM'den çekilen ısının zamanla değişimi, (suyun giriş sıcaklığı: 39 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.).....143
- 4.169. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının erime (ısı yükleme) ve katılaşma (ısı boşaltma) periyotlarına ait ısı fraksiyonlarının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı: 68 °C/39 °C, ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.).....143

**ÇİZELGELER LİSTESİ**

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Duyulur ısı depolama maddelerinden bazılarının özellikleri.....	9
2.2. Duyulur ısı depolama için bazı sıvı maddeler.....	11
2.3. Duyulur ısı depolama için kullanılan bazı katı maddeler.....	12
2.4. Enerji depolamada en çok kullanılan tuz hidratlar.....	20
2.5. Teknik saflıktaki bazı parafin waksların termofiziksel özellikleri.....	22
2.6. Bazı yağ asitleri ve termofiziksel özellikleri.....	23
2.7. Bazı organik ve inorganik ötektik karışımlar.....	24
3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan faz değişim materyalleri.....	45
3.2. Sıcaklık kontrol aletinin teknik özellikleri.....	47
3.3. Sirkülasyon pompasının teknik özellikleri.....	48
3.4. DSC Cihazının teknik özellikleri.....	51
3.5. Her bir FDM'nin erime periyodu için su akış hızları (debileri) ve su giriş sıcaklıkları.....	56
3.6. Her bir FDM'nin katılaşma periyodu için su akış hızları (debileri) ve su giriş sıcaklıkları.....	57
5.1. Her bir FDM için faz dönüşüm sıcaklığı ve süresi.....	148
5.2. Her bir FDM için ısı transfer akışkanının giriş sıcaklığındaki değişimin faz dönüşüm periyotları üzerindeki etkisi.....	149

**KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ****Simgeler**

$\Delta$	Fark veya değişim
$C_p$	Özgöl ısı (kJ/kg °C)
$c$	Isı kapasitesi
$m$	Kütle (g)
$T$	Sıcaklık (°C)
$r$	Yarıçap (cm)
$H$	Entalpi (kJ/kg)
$Q$	Isı (kJ)
$\pi$	$\pi$ sayısı (3,14)
$k$	Isıl iletkenlik (J/m <sup>2</sup> °C)
$L$	Uzunluk
$\lambda$ (h)	Isı transfer katsayısı (W/m °C)
$q$	Isı yükü (W/m <sup>2</sup> )
$A$	Yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
$R$	Direnç (ohm)
$\Sigma$	Toplam

**Kısaltmalar**

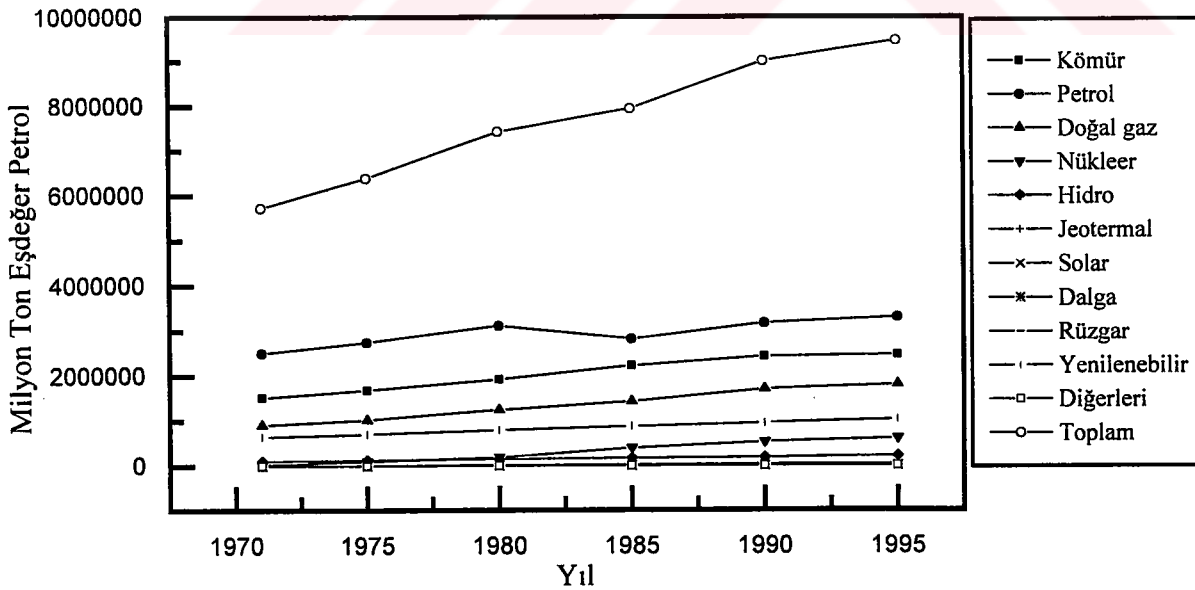
FDM	Faz değişim materyali
ID	Isı değiştiricisi
GIED	Gizli ısı enerri depolama
DSC	Differential scanning calorimetry
TR	Termoresiztans
PG	Cam silindir kap içerisindeki parafin waks
PSS	Paslanmaz çelik kap içerisindeki parafin waks
PSSH	Alüminyum içerikli paslanmaz çelik kap içerisindeki parafin waks.



## 1. GİRİŞ

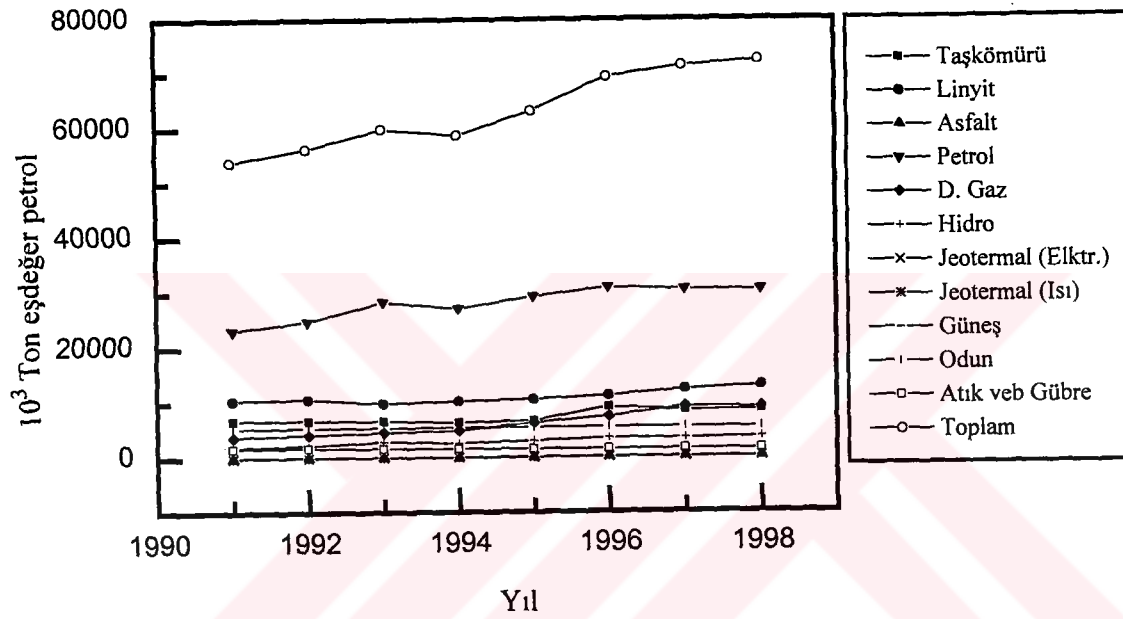
Enerji insan hayatının başlangıcından günümüze kadar giderek artan miktarlarda insan yaşamına girmiş ve insanların refah düzeyini yükseltmiştir. Nüfusun ve teknolojik imkanların hızla artması sonucu, günlük hayatta kullanılan araçlarda yaygınlaşmakta ve sonuçta enerji tüketimi gittikçe artmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve aşırı şekilde tüketilmesi nedeniyle arz ile talep arasında her yıl önemli oranda bir fark oluşmaktadır.

1900 yılında Dünyanın enerji ihtiyacının yaklaşık % 58'i fosil kökenli enerji kaynaklarından karşılanırken, yaklaşık yüz yıl sonra (1997) bu oran % 78 değerine yükselmiştir. Diğer yandan, 1971 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarındaki (biyolojik atıklar, su, rüzgar, jeotermal, güneş v.b.) tüketim miktarı 5.1 Kton iken, 1995 yılında bu değer yaklaşık beş katına (36 Kton) çıkmıştır (Şekil 1.1). Ayrıca, Şekil 1.1'de de görüldüğü gibi son yirmi yıl içerisinde Dünyadaki enerji rezervleri yaklaşık % 57 oranında tüketilmiştir (Koopmans, 1999).



Şekil 1.1. 1971- 1995 yılları arasında dünya enerji kaynaklarındaki tüketim istatistiği

Ülkemizin son yedi yıllık bir zaman periyodundaki enerji tüketimi yaklaşık % 45 oranında artış göstermiştir (Şekil 1.2). Diğer yandan, 1991 yılında ülkemizde % 81 oranında fosil enerji kaynakları tüketilirken, yenilenebilir enerji kaynaklarında ise bu miktar yaklaşık % 18.5 değerindedir (Koopmans, 1999). Ayrıca, 1998 yılında bu oranlar sırasıyla yaklaşık % 70,6 ve % 29,4 değerine yükselmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. 1991-1998 Yılları arasında ülkemiz enerji kaynaklarındaki tüketim istatistiği

Birleşmiş Milletler verilerine göre dünya nüfusunun sadece % 6'sını oluşturan ABD ve Kanada'da tüketilen enerji, toplam dünya tüketiminin % 31'ini oluşturmaktadır. Ülke başına düşen enerji tüketim hızı global ortalama olarak yaklaşık 2 kW (ABD'de tüketilenin 5'te birinden daha az) iken dünya nüfusunun % 69'u 1 kW veya daha az miktarda bir enerji ile ihtiyacını karşılayabilmektedir. Dünyadaki yıllık enerji tüketimini  $0.24Q$  ( $Q = 10^{18}$  Btu =  $2,93 \cdot 10^{14}$  kWh) olarak sabit bir değerde olduğunu ve kömür rezervlerinin de  $211Q$ 'ya eşit olduğu kabul edilecek olursa, dünya kömür rezervlerinin yaklaşık olarak son 900 yıllık bir ömrünün kaldığı söylenebilir (Kalkış ve Kakaç, 1996). Enerjideki yıllık büyüme hızı yaklaşık % 4 olarak alınacak olursa, fosil yakıt rezervlerinin

yaklaşık 90 yıllık ömrünün kaldığı ifade edilebilir. Bu verilerden de anlaşıldığı gibi, fosil yakıtlarının sınırlı olması ve aşırı şekilde tüketilmesi nedeniyle arz ile talep arasında her yıl önemli ölçüde bir fark oluşmaktadır. Bu nedenle mühendisler ve bilim adamları yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yoğun araştırmalara yönelmişlerdir. Yeni enerji kaynakları konusunda yapılan bu çalışmalara paralel olarak enerjinin depolanması konusunda çok sayıda araştırma yapılmaktadır (Abhat, 1983; Brandstter, 1988; Burunleva, 1974; Gargi and Nasım, 1981).

Enerji depolama, bir yandan enerjinin kullanıldığı alanda oluşan atık enerjileri depolama (örneğin sanayide atık ısının depolanması gibi), diğer yandan yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen (örneğin güneş enerjisi gibi) yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji temin zamanı ile enerji talebi arasında doğabilecek farkı gidermeyi amaçlamaktadır. Enerji depolama enerji sistemlerinin performansını düzenler ve verimini artırır. Özellikle güneş enerjisinden yararlanarak çalışan sistemlerin büyük bölümü yardımcı enerji kaynağıyla desteklenmektedir. Güneş enerjisinin depolanması ile yardımcı enerji kaynağına duyulan ihtiyaç azaltılabilir. Böylece değerli olan fosil yakıt (kömür, petrol ve doğal gaz gibi) rezervleri muhafaza edilir.

Yukarıda yapılan açıklamalardan da görüleceği gibi, enerji depolamanın önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Enerjinin ekonomik ve verimli bir şekilde depolanması depolama, teknoloji uzmanlarının günümüzde en fazla uğraştıkları konuların başında gelmektedir. Yapılan çalışmaların başlıca amacı enerjinin en verimli şekilde depolanması ve ihtiyacı karşılayabilecek en uygun dönüşümün geliştirilmesidir.

Düşük sıcaklıktaki ısı uygulamalarda güneş enerjisinin etkili ve yaygın olarak kullanılmasında verimli, ekonomik ve güvenli bir ısı depolama önemli bir rol oynamaktadır. Çeşitli ısı depolama maddelerinin ısıyı faz geçiş sıcaklığına uygun sabit bir sıcaklıkta depolamalarından dolayı “faz değişimi ile enerji depolama” teknik olarak biraz daha caziptir.

Literatürde yapılan çalışmalara göre; düşük sıcaklıkta ısı enerji depolayan maddeler içerisinde yağ asitlerinin ve ötektik karışımlarının termofiziksel ve

termokimyasal bakımından diğer faz değişim (ya da gizli ısı) maddelerine göre daha üstün özellikler sahip olmasından dolayı bu maddelerin ısı enerji depolama özelliklerinin detaylı olarak incelenmesi çalışmamızın ana amacını oluşturmaktadır.

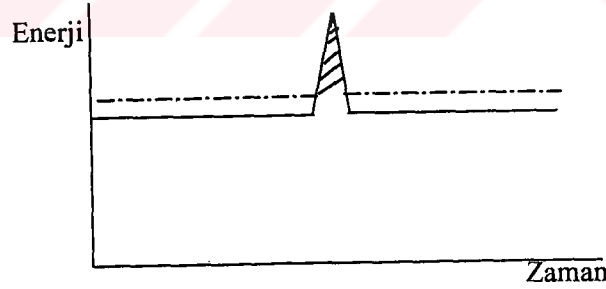


## 2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

### 2.1. Enerji Depolamada Arz ve Talep Dengesi

Oluşturulacak enerji depolama sisteminin performansının artırılması ve toplam maliyetinin azaltılması suretiyle enerji depolama bu husustaki arz ve talep dengesini sağlayabilir. Enerji depolamada arz-talep dengesi için aşağıdaki üç durum göz önüne alınabilir:

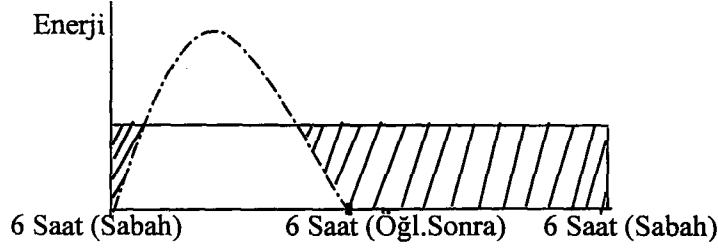
a) Bazen kaynaktan sağlanan enerji sabit olup, kısa süreli keskin bir yükleme piki şeklinde kendini gösterebilir (Şekil 2.1). Bu durumda depolanan enerji miktarı küçüktür. Fakat depolama sistemi bu enerjiyi çok kısa bir sürede temin etmek durumunda olduğu için enerji transfer hızı yüksek olacaktır. Mevcut depolama bunu sağlayamadığı takdirde, keskin bir pik şeklindeki bu talebi karşılayacak çok daha güçlü bir kaynağa gereksinim duyulacaktır. Yani, depolama maliyeti önemli derecede artacaktır (Garg et al.,1985).



Şekil 2.1. Sabit bir enerji kaynağı ve enerji talebini gösteren pik (Garg et al.,1985)

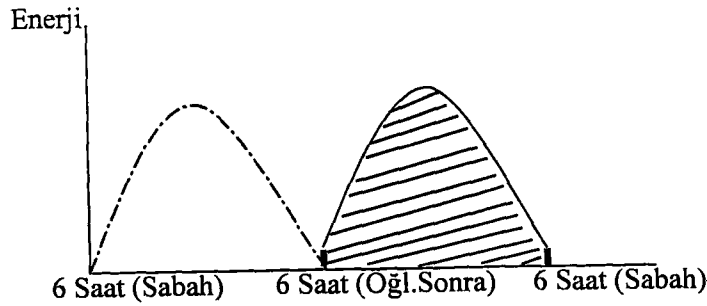
b) Enerji kaynağı güneş enerjisi gibi bir değişken kaynak olabilir. Bu durumda, yükleme Şekil 2.2'deki gibi sabit olabilir. Geceleri enerji kaynağından yararlanılamayacağı için, bu periyotta ihtiyaç duyulan talebi karşılayacak önemli miktardaki enerji gündüzleri depolanmalıdır. Bu durumda da gündüz güneşten sağlanacak enerjinin depolanma süresi

gece ihtiyaç duyulacak enerjiyi karşılayacak kadar uzun ya da ihtiyacı karşılayacak miktarda olmalıdır (Garg et al.,1985).



Şekil 2.2. Sabit enerji talebi ve değişken enerji kaynağı (Garg et al., 1985)

c) Enerji depolamada arz ve talebin her ikisi de değişken olabilir ve arz piki güneşle konut ısıtmada olduğu gibi talep pikinden oldukça uzak bir zaman periyodunda gözlemlenebilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Değişken enerji arz ve talebi, arz-talep denklığı (Garg et al., 1985)

Konut ısıtma yükünün sadece gece gerçekleştiği ekstrem bir hal göz önünde bulundurulduğunda ise, güneş kolektörü ile toplanan tüm enerjinin gece gereksinim duyulan enerjiyi karşılayabilecek seviyede olduğu söylenebilir. Dolayısıyla da gündüz

yükleme işlemi için, (b) maddesinde ifade edilen miktardan çok daha fazla bir enerjinin depolanması gerektiği söylenebilir (Garg et al.,1985).

d) Enerjinin sadece yaz mevsiminde depolandığı ve ısıtma yükünün de sadece kış mevsimine ait olduğu durumda tüm mevsim boyunca toplanan enerji önce depolanır sonra da depodan çekilir. Bu tip depolama mevsimlik depolama olarak da bilinir.

Enerji depolamada miktar bakımından arz ve talep denklığı dışında dengelenme zorunluluğu olan başka özellikler de vardır. Enerji depolama, zaman ve depolanan enerjinin geri alınma (deşarj) hızının ihtiyaç duyulan talebe uygunluğu bu özelliklerin en önemlilerini oluşturur (Garg et al.,1985).

## 2.2. Güneş Enerjisinin Isı Şeklinde Depolanması

Yüzey ısıtma, konut ve işyerleri için sıcak su temini ve bina havasının iklimlendirilmesi gibi düşük sıcaklıktaki uygulamalar için güneş enerjisinin ısı şeklinde depolanması önemlidir. Düşük sıcaklıktaki güneş enerjisi uygulama sistemleri genelde çalışma sıcaklığının suyun normal kaynama noktası olan 100°C'yi geçmediği sistemler olarak tanımlanırlar. Su kaynama sıcaklığının altında yapılan enerji depolama işlemleri güneşten elde edilen ısı enerjisinin verimli bir şekilde kullanımına imkan vermektedir. Prensip olarak düşük sıcaklıkta enerjinin depolanabilmesi, güneş enerjisinin gündüzden geceye veya yazdan kışa depolanmasına imkan verir. Güneş enerjisini ısı şeklinde depolayan maddelerde aranan özellikler aşağıda ki gibi olmalıdır (Abhat, 1980):

- a) Birim kütle ve hacminin ısı depolama kapasitesi büyük olmalıdır,
- b) Depolama verimi yüksek olmalıdır,
- c) Çalışma sıcaklık aralığına uygun özelliklere sahip olmalıdır,
- d) Kararlı bir erime sıcaklığına sahip olmalıdır,
- e) Sıcaklık farkı olmadan fazla miktarda ısıyı yükleyip boşaltabilmelidir,
- f) Isı yüklenme-boşaltma periyotları tam bir tersinirlik göstermelidir,

- g) Depolama kapasitesinde ve performansında azalma olmaksızın çok sayıda yükleme-boşaltma işlemi yapabilmelidir,
- h) Isı yükleme-boşaltma esnasında ısı kaybı çok az olmalıdır.
- ı) Isı yükleme-boşaltma hızı yüksek olmalıdır.
- k) Isı depolama ömrü uzun olmalıdır.
- l) Ucuz olmalıdır.
- m) Korozyon, yanıcı ve zehirleyici olmamalıdır.

Düşük sıcaklık aralığında (0-90°C) ısı, üç tip metotla depolanabilir. Bunlar; duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama ve termokimyasal depolamadır.

### 2.2.1. Enerjinin Duyulur Isı Şeklinde Depolanması

Duyulur ısı depolama sistemleri, enerjiyi duyulur ısı şeklinde depolayan maddeleri kullanırlar. Duyulur ısıyı depolayan maddelerden en çok bilinen iki madde su ve taş parçaları (çakıl taşı)'dır. Bu maddelerin her ikisi de ucuzdur ve bol bulunurlar, ayrıca kullanım teknolojileri diğerlerine göre daha iyi bilinmektedir. Bu tip depolamada depoya ısı yükleme veya depodan ısı çekme esnasında ortamın sıcaklığı değişir (Hasnain, 1998).

Duyulur ısı depolama sistemlerinin etkili olması kullanılan maddenin özgül ısısına ve eğer hacim önemli ise depolama maddesinin yoğunluğuna bağlıdır. Çizelge 2.1'de depolama maddelerinden tipik olanların yoğunluk ve özgül ısı değerleri verilmiştir. Bu çizelgede verilen değerlerden görüldüğü gibi, örneğin, 1 m<sup>3</sup> su 1°C ısıtıldığı zaman 4198 kJ'lük bir enerji depolarken 1 m<sup>3</sup> hacimdeki kaya ise suyun depoladığı enerjinin yaklaşık yarısı kadar enerji depolamaktadır. Depolama sisteminin performansını; çalışma sıcaklığı, depolama maddesinin ısı iletkenliği, en yüksek çalışma sıcaklığında maddenin kararlılığı ve şüphesiz sistemin maliyeti gibi faktörler etki eder.



Çizelge 2.1. Duyulur ısı depolama maddelerinden bazılarının özellikleri

Madde	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül ısı (kJ/kg K)
Su	1000	4,19
Taş parçası	2500-3500	0,88
Demir	7860	0,50
Beton	2250	0,65
Su-Etilen Glikol (50/50)	1050	3,47

Duyulur ısı depolama sistemlerinin en cazip özelliklerinden birisi de ısı yükleme ve boşaltma işlemlerinin tersinir olmasıdır. Yani, sistemin ekonomik ömrü boyunca bu maddelerin ısıyı depolama ve boşaltma özellikleri devam eder. Duyulur ısı depolama sistemlerinin genel problemleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Kılıç vd., 1983):

- a) Isı depolama esnasında depolama sıcaklığı sürekli olarak arttığından sistemdeki ısı kayıpları fazladır.
- b) Sistemden ısı çekilirken, depolama sıcaklığı sürekli düştüğünden ısı akış dağılımı oldukça küçüktür.
- c) Isı depolama işlemi, çevre sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda olmaktadır. Bundan dolayı, sistemde iyi bir izolasyon gereklidir ve bu da sistemin maliyetini artırmaktadır

Duyulur ısı depolama, depolama ortamına göre; sıvı ortamda depolama, katı ortamda depolama ve ikili (karışık) ortamda depolama şeklinde sınıflandırılabilir.

### 2.2.2. Sıvı Ortamda Isı Depolama

Su, ucuz ve bol olarak bulunabilen bir madde olduğundan duyulur ısı depolamada

en çok kullanılan sıvı ortam ısı depolama maddesidir. Çizelge 2.2’de duyulur ısı depolama sistemlerinde kullanılan çeşitli sıvıların termofiziksel özellikleri verilmektedir (Kangas and Lund,1994; Sharp and Loehrke, 1978; Lavan and Thomson, 1977).

Depolama ortamı olarak su kullanmanın bazı avantajları aşağıda özetlenmiştir:

a) Ucuzdur, kolay taşınır, zehirleyici ve yanıcı değildir ve yeryüzünde bolca bulunmaktadır.

b) Isı kapasitesi diğer sıvılardan büyüktür. Isı transfer özellikleri iyidir.

c) Kollektörlerde ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanıldığında ısı değiştirici kullanmaya gerek yoktur.

d) Pompalama enerjisine gerek olmadığı zaman sistem zorlanmış konveksiyon yerine doğal konveksiyonla çalışabilir.

e) Depolama tankının kendiliğinden doldurulup boşaltılması mümkündür.

f) Kullanırken kontrolü, ölçümü ve ayarlanması kolaydır.

g) Teknik, fiziksel, kimyasal ve ekonomik verileri en fazla bilinen maddedir.

Isı depolayıcı madde olarak su kullanmanın dezavantajları:

a) Su donabilir ya da kaynayabilir. Pek çok bölgelerde donmayı önleyici tedbir gereklidir. Bundan dolayı genelde kollektör döngüsünde bir ısı değiştirici ile birlikte antifiriz maddesine ihtiyaç vardır.

b) Oldukça fazla korozif özelliğe sahip olduğundan korozyonu önlemek için sisteme kimyasal katkı maddeleri koymak gerekmektedir.

c) Suda ıyı tabaka halinde depolamak zor olduğundan bu tür sistemlerde depoda tabakalaşma pek olmaz.

Yeraltı suları da, enerji depolamada potansiyel kaynaklar arasındadır. Bu tür depolamalarda depolama sıcaklığı 200 °C civarında olabilir. Ayrıca organik yağlar, erimiş tuzlar ve sıvı metaller sulu sistemde oluşacak buhar basıncı problemlerini önlerler fakat taşıma, depolama, maliyet, depolama kapasiteleri ve faydalı sıcaklık aralığı gibi bazı sınırlamalardan dolayı bu tür maddeler konut ısıtma uygulamalarında depolama ortamı olarak pek kullanılmazlar. Duyulur ısı depolamada kullanılan bazı sıvı maddeler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.2. Duyulur ısı depolama için bazı sıvı maddeler

Ortam	Akış tipi	Sıcaklık aralığı (°C)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Spesifik ısı (J/kg.K)	Isıl iletkenlik (W/m.K)
Su		0-100	1000	4190	0,63
Su-Etilen					
Glikol			1050	3479	
Terminol 55	Yağ	(-18)-(315)		2400	
Terminol 66	Yağ	(-9)-(343)	750	2100	0,106
Etilen Glikol			1116	2382	0,249
Motor yağı	Yağ	<160	888	1880	0,145
Lityum	Sıvı metal	180-1300	510	4190	38,1
Sodyum	Organik sıvı	100-760	960	1300	67,5
Etanol	Organik sıvı	<78	790	2400	-
Propanol	Organik sıvı	<97	800	2500	-
Bütanol	Organik sıvı	<118	809	2400	-
İzobütanol	Organik sıvı	<100	808	3000	-
İzopentanol	Organik sıvı	<148	831	2200	-
Oktan	Organik sıvı	<126	704	2400	-

### 2.2.3. Katı Ortamda Isı Depolama

Suyun yüksek buhar basıncı ve diğer sıvıların sınırlı kullanımı ısı enerjisinin kayalar, metaller, beton, kum vb. katılarda duyulur ısı şeklinde depolanması ile ortadan kaldırılabılır. Güneş enerjisi katılarda yüksek sıcaklıklarda olduğu gibi düşük sıcaklıklarda da depolanabilir. Ayrıca katıların donma, kaynama ve kendi kaplarının dışına sızma gibi problemleri de yoktur (Hasnain et al., 1996).

Duyulur ısının depolanması için kullanılan katı maddelerin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir (Arslan, 1993; Kaygusuz, 1992) .

Çizelge 2.3. Duyulur ısı depolama için kullanılan bazı katı maddeler

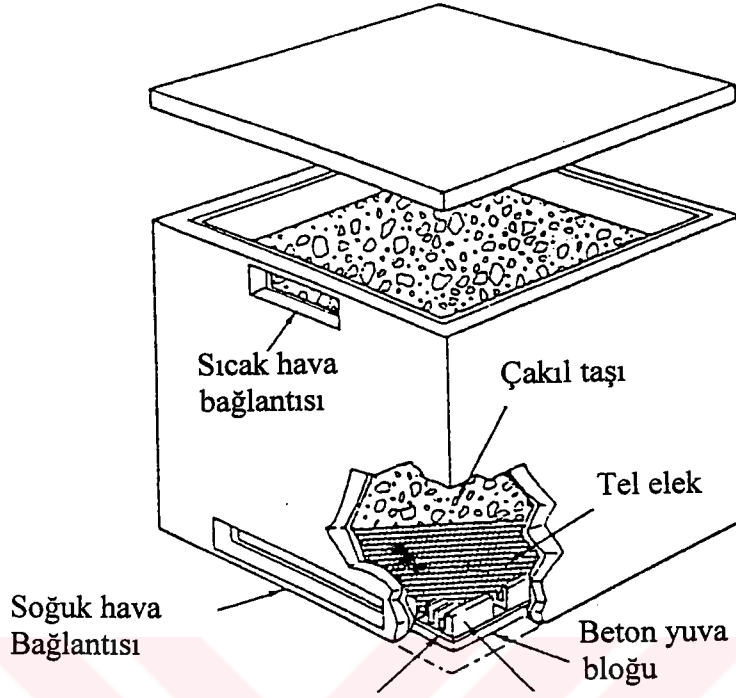
Depolama maddesi	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül ısı, c, (J/kgK)	Isı kapasitesi, c.10 <sup>-6</sup> J/m <sup>3</sup> K	Isıl iletkenlik (W/mK)	Isıl yayılma $\alpha=k/c10^6m^2/s$
Alüminyum	2707	896	2,4255	20 °C'de: 204	84,10
Alüminyum oksit	3900	840	3,2760		
Alüminyum sülfat	2710	750	2,0325		
Tuğla	1698	840	1,4263	29 °C'de: 0,69	0,484
Beton	2240	1130	2,5310	0,9-1,3	0,35-0,51
Dökme demir	7900	837	6,6123	29,3	4,431
Saf demir	7897	452	3,5694	20 °C'de: 73	20,45
Kalsiyum klorür	2510	670	1,6817		
Bakır	8954	383	3,4294	20 °C'de: 385	112,3
Toprak (yaş)	1700	2093	3,5581	2,51	0,705
Toprak (kuru)	1260	795	1,0017	0,25	0,25
Magnezyum oksit	3570	960	3,4272		
Potasyum klorür	1980	670	1,3266		
Potasyum sülfat	2660	920	2,4472		
Sodyum karbonat	2510	1090	2,7359		
Sodyum klorür	2170	920	1,9964		
Sodyum sülfat	2700	920	2,4840		
Granit	2640	820	2,1648	1,73-3,98	0,79-1,84
Kum taşı	2200	710	1,5620	1,83	0,56-0,59
Kireç taşı	2500	900	2,2500	1,26-1,33	0,99-1,41
Mermer	2600	800	2,0800	2,07-2,94	1,72

Bu katıların termal iletkenlikleri ve özgül ısıları oldukça düşük olsa bile, düşük buhar basıncı ve reaksiyon vermeme gibi arzu edilen bazı fiziksel özelliklere sahiptirler. Bu fiziksel özellikler yüksek sıcaklıklarda Ayrıca, ucuz ve bol miktarda olduklarından ısı depolayıcı madde olarak kullanılabilirler. Depolayıcı maddelerin seçiminde ısı kapasitesi

önemli bir kriterdir. Çizelge 2.3'deki maddelerden ısı kapasitesi en büyük olan dökme demirdir. Fakat bu madde pahalı olduğundan depolayıcı olarak pek kullanılmaz. Bunun yerine genelde çakıl taşları veya kaya parçaları hem ucuz hem de kolayca temin edilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Düşük sıcaklıklarda ısı taşıyıcı akışkan olarak genelde hava kullanılmaktadır. Kayalar (çakıl taşları) geniş yüzeyleri olmaları ve dolgulu yatak boyunca kıvrıntılı hava akış yolu sağladıklarından direkt olarak temasla havaya veya havadan ısıtma ortamına iyi bir ısı transferi sağlarlar. Büyük kapasiteli depolar toprak altına uygun bir şekilde yerleştirilebilir. Dolgu yataklı bir depolama sisteminde depolanan enerji maddenin termofiziksel özelliklerinden başka çakıl taşının boyutu, şekli, yoğunluğu ve ısı transfer akışkanı gibi bazı parametrelere bağlıdır.

Çakıl taşlı ısı depolamanın ana bileşenleri taşların bulunduğu bir depo, çakıl taşlarını destekleyen gözenekli yapı ve ısı depolama-boşaltma işlemini sağlayan hava kanallarından meydana gelmektedir. Kaya dolgulu bir depoda güneş enerjisini depolamak için kollektörlerden gelen sıcak hava çakıl taşlarının olduğu bölmeye gönderilerek burada depolanır. Depolanan bu enerjinin geri alınması çakıl taşlarına hava ters yönde gönderilmesi ile sağlanır. Genelde bu tür sistemlerin maliyeti düşüktür (King and Burns, 1981). Şekil 2.4'de tipik bir dolgulu yatak ısı depolama sistemi görülmektedir. Depolama tankının kesiti boyunca düzenli bir akış elde etmek için hava akımını dağıtan vanalar kullanılır. Bu tür depolama sistemlerinin kullanım avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Aslan, 1993; Kaygusuz, 1992).

- a) Depolama malzemesi bolca temin edilebilir, kolayca taşınır, zehirleyici ve yanıcı değildir ve ucuzdur.
- b) Yüksek sıcaklıklarda ısı depolamak mümkündür.
- c) Isı değiştiriciyi gerektirmez.
- d) Isı taşıyıcı akışkan olarak hava kullanılırsa, kaynama, donma ve korozyon gibi problemlerle karşılaşılmaz.



Şekil 2.4. Dolgulu yatak ısı depolama sistemi (Garg et al., 1993)

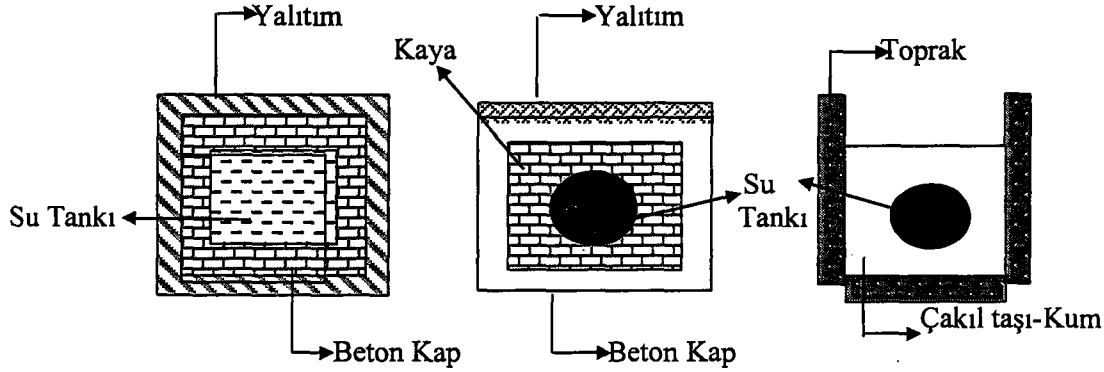
Bu tip depolama sisteminin dezavantajları:

- Depolama maddesinin ısı depolama kapasitesi, su ve kimyasal ısı depolayıcı maddelere göre daha düşük olduğundan depo hacmi büyüktür.
- Özel düzenlemeler yapılmadıkça doğal sirkülasyon (sisteme kendiliğinden ısı yükleme ve sistemden ısı boşaltma işlemi) sağlanamaz.
- Büyük basınç düşüşünden dolayı hava sirkülasyon maliyeti yüksek olabilir.
- Bazı şartlarda toz, küf ve haşerat problemi ortaya çıkabilir.
- Zamanla gerekli hale gelecek depo bakım işlemi güçleşir.

#### 2.2.4. İkili Ortamda Isı Depolama

Katı ve sıvı duyulur ısı depolama maddeleri depolama ortamında değişik şekilde yerleştirilebilirler. Bunlardan biri kaya dolgu yatak ile su tankının birleştirildiği hibrit sistemdir. Kaya dolgu ile çevrilmiş su tanklı ikili depolama sistemleri güneş enerjisi ile

yüzey ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 2.5'te yüzey ısıtma amaçlı üç çeşit hibrit sistemi görülmektedir. İki depolama maddesini birleştirmede diğer bir yöntem; çakıl taşı ve yağın tek bir kap içerisinde bulundurulmasıdır (Feldman et al., 1986; Abhat, 1983).



Şekil 2.5. İkili (hibrit) duyulur ısı depolama sistemleri

### 2.3. Enerjinin Gizli Isı Şeklinde Depolanması

Uygun sıcaklık aralığında faz değişimine uğrayan maddeler güneş enerjisini depolamak için kullanılabilirler. Burada depolamanın temel esası; kolektörlerden toplanan ısı enerjisinin maddeye verilmesi ve maddenin de bu enerjiyi füzyon gizli ısı olarak depolaması şeklindedir (genelde katı fazdan sıvı faza geçiş). Güneş kolektörleri çalışmadığı zaman, enerji depolama maddesi depolanan enerjiyi füzyon ısı şeklinde ısıtma ortamına verirken kendisi de faz değişimine uğrar (sıvı fazdan katı faza).

Faz değişimi ile ısı depolamada gerekli hacim duyulur ısıya göre 4-5 kat daha az olduğundan bu durum depo tasarımında önemli bir avantajdır. Örneğin suyun gizli ısının duyulur ısına oranı 80'dir ki bunun anlamı 1 kg buzun erimesi için gerekli enerji 1 kg suyun sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli enerjiden 80 kat daha fazladır.

Gizli ısı depolama sistemi en az üç bileşenden meydana gelir. Bunlar; istenen

sıcaklık aralığında faz değiştirerek enerji depolayabilen bir madde (FDM), maddenin konulduğu bir depo ve toplanan enerjinin yüksek bir verimle FDM 'ye ve buradan da ısıtma ortamına taşınmasını sağlayacak bir ısı değiştiricidir .

Faz değiştiren maddelerle enerji depolamada gerekli olan madde özelliklerini, çeşitli uygulamalar için uygunluğunu, avantaj ve dezavantajlarını detaylı olarak açıklayan birçok makale yayınlanmıştır (Carlson et al., 1979; Yanodori and Masuda 1989; Kaygusuz, 1999; Lacroix and Duong, 1998; Dinçer ve Dost, 1996).

Faz değiştiren maddelerin (FDM) pek çoğunun ısı iletkenliği zayıf pek çoğu az veya çok korozif etkiye sahip olduğundan bu tür sistemlerde özel depolama kapları gerekmektedir. Bu durum sistemin ilk yatırım maliyetini artırır. Genelde gizli ısı depolama sistemleri duyulur ısı depolama sistemlerinden daha pahalıdır. Bu maddeler duyulur ısı depolayan maddelere göre çok daha pahalı olduklarından, gizli ısı depolama daha çok aşağıdaki durumlarda uygulanabilmektedir (Abhat,1983):

- a) Yüksek enerji yoğunluğu veya yüksek enerji kapasitesi gerektiğinde,
- b) Sabit veya küçük bir sıcaklık aralığında enerji depolamaya ihtiyaç duyulduğu zaman, örneğin güneş destekli ve ısı pompaları yardımıyla konutların ısıtılmasında,
- c) Depo hacminin küçük olması gereken yerlerde.

### **2.3.1. Gizli Isı Enerji Depolamanın Esasları**

Faz değiştiren maddeler duyulur ısı depolayan maddelerle karşılaştırıldığında daha yüksek depolama yoğunluklarına sahip olduğu ve sabit bir sıcaklıkta faz değişiminden yararlanılarak büyük oranda enerji alışverişinin mümkün olduğu görülür. Ayrıca, faz değiştiren materyallerin küçük sıcaklık değişimleri nedeniyle bir miktar duyulur ısının da depolanması mümkündür. Fakat, depolanan bu enerji faz değişim gizli ısıyı yanında küçük kalır. Katı-gaz, sıvı-gaz, katı-sıvı ve katı-katı faz dönüşümleri esnasında gizli ısı enerjisi depolanması mümkündür. Bu sıralama, faz değişim ısısına göre yapılmıştır.



Katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümlerinin gizli ısıları yüksek olmasına rağmen, gazların hacimlerinin büyük olmasından dolayı enerji depolama için genellikle kullanılmazlar. Hacimdeki büyük değişimler, büyük, karmaşık, uygun olmayan ve dolayısıyla da arzu edilmeyen bir depolama sistemini ortaya çıkarır. Katı-sıvı dönüşümleri; katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümleriyle karşılaştırıldığında, daha küçük gizli ısıya sahiptirler. Buna rağmen, katı-sıvı dönüşümleri küçük bir değişimiyle (% 10 veya daha az) gerçekleşirler. Bu nedenle, faz değişimiyle enerji depolama sistemlerinde daha çok katı-sıvı dönüşümleri tercih edilir.

Katı-katı faz dönüşümlerinde ısı, maddenin bir kristal şeklinden diğer kristal şekline dönüşürken depolanır. Bu geçişler genellikle küçük gizli ısılar ve küçük hacim değişimlerine sahiptirler. Tuz hidratların gizli ısılarından yararlanarak yapılan enerji depolama işlemi; katı-sıvı faz değişimi yöntemine uygun olarak gerçekleşir. Bu işlem esnasında kullanılan belirli inorganik tuzlar suda çözünürler ve tuz hidratları kristal şeklini alırlar. Isınma esnasında katı hidrat kristalleri kristalizasyon suyuna geçer. Susuz tuz, suda serbest kalarak çözünür ve böylece sıvı çözelti oluşur. Erime gizli ısısının (kristalizasyon ısısı) ortamdan transferiyle tuzun tekrar hidrat kristalleri halinde katılaşması sağlanır. Katılaşma süresince faz değişim sıcaklığındaki fark çok küçüktür (Gültekin vd., 1991; Weiner et al., 1989; Sharma, et al., 1990).

### 2.3.2. Gizli Isı Depolayan Bir Sistemin Kullanımı

Isı enerjisini gizli ısı şeklinde depolayan bir sistem, öncelikle aşağıdaki üç şarta uygunluk göstermelidir:

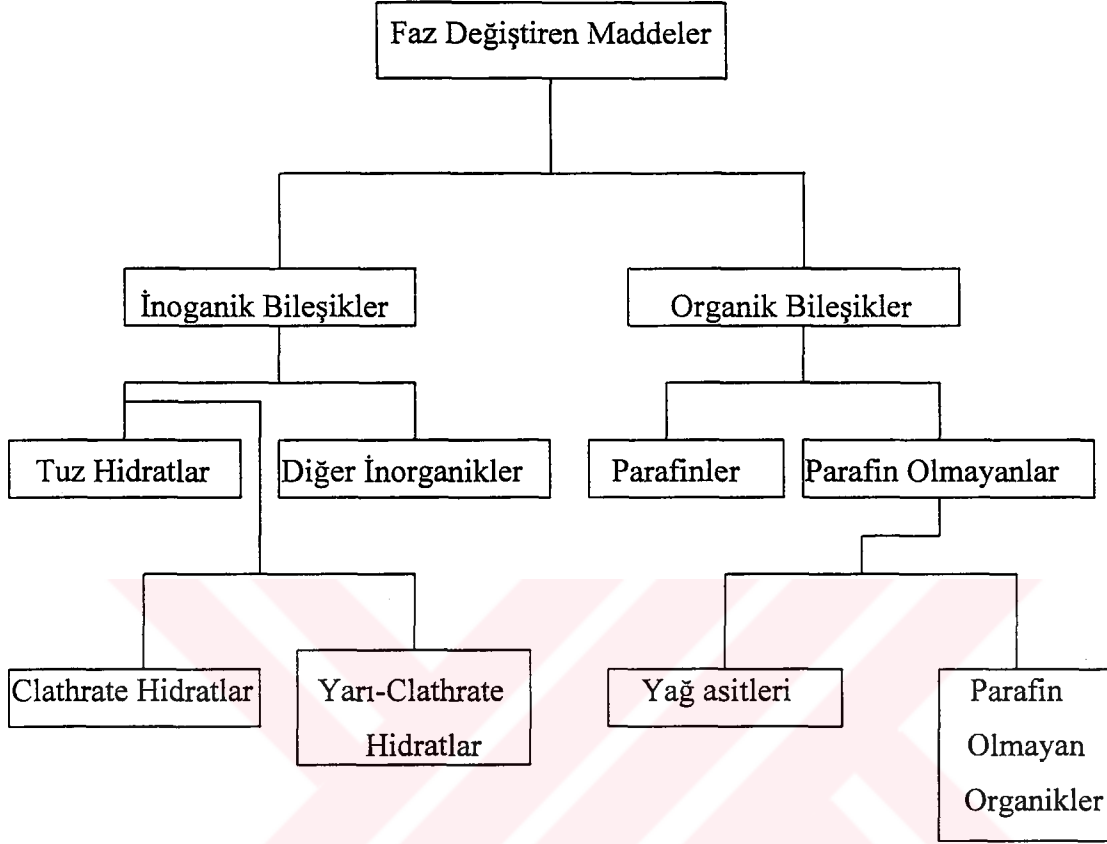
- a) İstenilen sıcaklık aralığında faz değiştiren uygun bir madde olmalı,
- b) Faz değiştiren madde uygun bir kaptaki tutulmalı,
- c) Isının önce FDM'ye sonrada, kullanılacak yere etkili bir şekilde transferini sağlayacak ısı değiştiricisi sistemi içermelidir.

Gizli ısı depolayan sistemlerin maliyeti, genellikle duyulur ısı depolayan sistemlerden daha yüksektir. Bir çok FDM zayıf ısı geçirgenliğine sahiptir ve bundan dolayı gizli ısı depolama sistemleri için büyük ısı değiştiricilerine gereksinim duyarlar. Bu da maliyeti artıran etkenlerin başında gelir.

### 2.3.3. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)

Uygun bir sıcaklık aralığında faz değişimine uğrayan maddeler ısı enerjisini depolamak için kullanılabilirler. Faz değişimi; katı-sıvı, katı-gaz ve sıvı-gaz şeklinde olabilir. Bu işlemdeki temel prensip; sabit sıcaklık ve basınç şartlarında maddeye ısı verilmesi veya maddeden ısı çekilmesi şeklinde olmaktadır. Faz değişimi sırasında maddeye verilen veya maddeden alınan ısı enerjisine “Gizli ısı veya faz değişim ısısı” adı verilir. Daha önce de ifade edildiği gibi, katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümlerinin gizli ısıları yüksek olmasına rağmen, hacimde meydana gelen büyük değişimler sistemleri karmaşık yaparak pratikte kullanılabilirlikten uzaklaştırmaktadır. Katı-sıvı dönüşümünün gizli ısısı, katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümünün gizli ısısıyla karşılaştırıldığında küçük olmasına rağmen, hacimdeki küçük değişimler, sistemi pratikte kullanılabilirlik açısından avantajlı duruma getirmektedir.

Katı-sıvı faz dönüşümüyle ısı depolama uygulamaları için birçok organik ve inorganik türde uygun FDM'ler mevcuttur. Bu konudaki araştırmaların bir çoğu tuz hidratları üzerinde yoğunlaşmıştır. 0-100 °C sıcaklık aralığında eriyen yüksek füzyon ısına sahip çok sayıda organik ve inorganik kimyasal madde bilinmektedir (Abhat, 1983; Lane and Glew,1975; Shröder, 1980). Güneş enerjisi ile bina ısıtma ve sıcak su temini için optimum sıcaklık aralığı 40-60 °C iken, ısı pompalarında bu değer 20-30 °C'dir. 0-100 °C sıcaklık aralığında faz değiştiren maddeler aşağıda görüldüğü gibi organik ve inorganik olmak üzere başlıca iki gruba ayrılırlar.



Şekil 2.6. Faz değiştiren ısı depolama maddelerinin sınıflandırılması

### 2.3.3.1. Tuz Hidratlar

Faz değiştirme sıcaklık aralığı 0-150 °C olan inorganik maddelerin en önemli grubunu tuz hidratlar oluşturmaktadır. Genellikle suda çözünen tuz hidratlar kullanılır. Enerjinin gizli ısı şeklinde depolanmasında en sık kullanılan tuz hidratların bazı termofiziksel özellikleri ve maliyetleri Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Enerji depolamada en çok kullanılan tuz hidratlar

Tuz hidratlar	Erime noktası	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Füzyon ısısı (kJ/kg)	Maliyeti (\$/kg)
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O	31,6 °C	1460,0	252,16	0,26
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .10H <sub>2</sub> O	32-36 °C	1440,0	248,48	0,29
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	27-32 °C	1710,0	187,49	0,17
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .12H <sub>2</sub> O	36,0 °C	1520,0	274,22	0,61

Tuz hidratların çoğunda karşılaşılan en önemli problem erime-katılaşma esnasındaki faz ayrımıdır. Erime esnasında açığa çıkan kristalizasyon suyu ortamdaki katı fazı çözmek için yeterli değildir (erime sıcaklığında bu çözelti aşırı doymun haldedir). Katı faz sıvı faza göre daha yüksek yoğunluğa sahip olduğundan bulunduğu kabın alt kısmına çöker. Faz ayrılması; Tersinir işlem esnasında (örneğin, kristalizasyon veya katılaşma) çöken tuzun önemli bir kısmı ile kristallenmesi gereken suyun bir faz yardımıyla birbirinden ayrılması şeklinde tanımlanır. Su-kristal faz ayrımı problemini gidermek için aşağıdaki işlemlerden birine başvurulabilir;

a) Susuz tuzun çökmesini önlemek veya süspansiyonda daha az hidrat tutmak için koyulaştırıcı bir madde kullanmak.

b) Karıştırma, titreştirme gibi mekanik yöntemler kullanmak.

c) Fazla su ilave ederek bu aşırı doymun hali (katı maddenin dibe çökmesi) gidermek.

d) Faz ayrımını azaltmak için FDM'yi kapsül içerisine koymak. Bu esnada tuz hidratlar metalik kapları korozyona uğratabileceğinden, kapsülleme için plastik kapların kullanılması korozyon oluşturmama bakımından avantajlıdır. Ancak, bu durumda da ısı iletim probleminin ortaya çıkacağı da unutulmamalıdır.

Tuz hidratların bir çoğunda karşılaşılan ikinci problem ise, katılaşma esnasında tuz hidratın aşırı soğumasıdır. Yani, kristal oluşum (çekirdekleşme) hızı çok düşük olduğu için, katılaşma işlemi erime sıcaklığında gerçekleşmez. Aşırı soğumadan dolayı, FDM depoladığı enerjiyi beklediği gibi erime noktasında değil, ancak birkaç derece düşük sıcaklıkta geri verebilir.

Tuz hidratlarda karşılaşılan aşırı soğuma problemi aşağıda verilen yöntemlerin biri ile önemli derecede azaltılabilir (Pillai and Brinkworth, 1976).

a) Maddenin kristal yapısına benzeyen küçük bir kristal parçanın ilavesiyle faz değiştiren madde kristallerinin büyümesi sağlanabilir.

b) Heterojen çekirdekleşmeyi ilerletmek için pürüzlü ısı değiştirici yüzeyi ve pürüzlü kapsül duvarları gibi mekanik vasıtalar kullanmak.

### 2.3.3.2. Parafinler

Metandan, pentana kadar alkanlar, oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında gazdırlar.  $C_5H_{12}$  ile  $C_{15}H_{32}$  arasındaki bileşikler sıvıdır ve onbeşden fazla karbon içeren bileşikler ise oda sıcaklığında mumsu katılıktadırlar. Bu maddelerin erime noktaları ve füzyon ısıları molekül ağırlığı ile birlikte artar. Böylece, karbon sayısı 14-40 ve erime noktası 6-80°C arasında olan parafin hidrokarbonların ısı depolama için FDM olarak kullanmak mümkündür. Ucuz olmaları, bol bulunmaları ve daha kararlı olmaları parafinler için başlıca tercih sebebidir. Ayrıca, FDM olarak kullanılan parafinlerin bazı avantajlı özellikleri aşağıda verilmiştir;

- a) Bol ve ucuz olarak bulunabilirler,
- b) Korozif ve oksitleyici değildirler,
- c) Geniş bir erime aralığına sahiptirler,
- d) Yüksek füzyon gizli ısısına sahip olabilirler,
- e) Faz geçişleri hızlıdır,
- f) Kimyasal olarak kararlıdırlar ve yoğunlukları düşüktür,

- g) Önemsiz miktarda aşırı soğuma gösterirler,  
 h) Kendi kendilerine çekirdekleşebilirler,  
 ı) Erime noktasındaki hacim değişimleri düşüktür.

Parafinler, tuz hidratlarla karşılaştırıldıklarında hacimsel enerji depolama yoğunlukları daha düşüktür. Bu maddeler erime esnasında faz ayrılma problemi göstermezler ve çekirdekleştiriciye gerek duymayacak kadar kendi kendine çekirdekleşme özelliği gösterirler. Fakat bu maddelerin termal iletkenlikleri zayıftır ve ısı değiştirici tasarımında özel bir itina gerektirirler. Ayrıca, ekonomik olmaları nedeniyle depolamada daha çok teknik saflıkta parafinler kullanılır.

Teknik saflıktaki parafinler bir çok hidrokarbonun karışımı olduğu için sabit bir erime noktasından daha çok bir erime aralığına sahiptirler. Ticari parafin waxlar ısı depolama uygulamaları için en çok incelenen maddelerin başında gelir Ticari saflıktaki parafinlerin termal davranışı DSC analizi ile detaylıca incelenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçların bazıları Çizelge 2.5’de verilmiştir (Hasnain, 1998).

Çizelge 2.5. Teknik saflıktaki bazı parafin waxların termofiziksel özellikleri

Teknik saf. parafin wax	Başlangıç sıcaklığı	İlk pik sıcaklığı (°C)		Entalpi (J/g)		Katı-sıvı faz dönüşüm entalpisi	
		Erime	Katılma	Sıcaklık aralığı (°C)	Entalpi (J/g)	Sıcaklık aralığı (°C)	Entalpi (J/g)
PG	43,95 °C	51,25	49,95	15,85-43,95	55,7	43,95-52,10	135,3
PSS	44,25 °C	51,4	50,4	15,85-44,25	61,7	44,25-52,08	132,1
PSSH	43,85 °C	51,5	50,15	15,85-13,85	60	43,85-52,05	136,9

### 2.3.3.3. Parafin Olmayan Organik Maddeler

Parafin olmayan organik maddeler yağ asitleri, esterler, alkoller ve glikoller gibi geniş aralığı içerir. Literatürde erime aralığı 7-187 °C ve erime entalpisi; 42-250 kJ/kg olan yaklaşık yetmiş tane parafin olmayan maddenin ısı depolama amaçlı kullanılabileceği belirtilmiştir (Hale et al., 1971). Bu organik maddeler; yağ asitleri, yağ asiti karışımları ve diğer parafin olmayan organik maddeler olarak alt gruba ayrılırlar. Yağ asitlerinin genel formülü  $CH_3(CH_2)_{2n}COOH$  olup füzyon ısı değerleri parafinlerle karşılaştırılacak kadar yüksektir. Yağ asitleri bir çok parafin ve tuz hidrata göre daha uygun erime noktasına sahip olduğundan dolayı daha çok bina ısıtma uygulamaları için tercih edilirler (Feldman et al., 1986). Yağ asitleri mükemmel bir erime-katılaşma özelliğine sahiptirler yani aşırı soğuma davranışı göstermezler.

DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) ölçüm tekniği kullanılarak yağ asitleri üzerine bir çok araştırmalar yapılmıştır (Galen and Brink, 1986; Hasan and Sayigh, 1994; Hasan, 1994<sup>a</sup>; Hasan, 1994<sup>b</sup>). Deneysel olarak test edilen yağ asitlerinden bazıları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Bazı yağ asitleri ve termofiziksel özellikleri

Yağ Asiti	Erime aralığı (°C)	Füzyon ısısı (kJ/kg)	Spesifik ısısı (C <sub>p</sub> <sub>k</sub> ) (kJ/kg°C)	Spesifik ısısı (C <sub>p</sub> <sub>s</sub> ) (kJ/kg°C)
Kaprik asit	-	-	-	-
Laurik asit	40-43	167-171	-	-
Miristik asit	50,4-53,6	189	-	-
Palmitik asit	57,8-61,8	201	2,2	1,7
Stearik asit	65,2-68,5	210	2,07	1,9

### 2.3.3.4. Ötektik Karışımlar

Saf bileşenlerden ayrı olarak organik veya inorganik bileşiklerin karışımları istenilen erime sıcaklığına ulaşmak amacıyla kullanılabilirler. Enerji depolama için uygun bir faz dönüşüm entalpisi ve yüksek erime noktasına sahip maddelerin depolamada kullanılabilmesi için başvurulan yöntem o maddenin başka bir FDM ile ötektik karışımını hazırlamaktır. Bu durumda, depolama amacına uygun olarak bir FDM iki veya daha fazla FDM ile karıştırılarak ötektik bileşime sahip karışımlar hazırlanabilir.

Ötektik bileşimdeki bir karışım saf bir FDM'nin sahip olduğu ısıl özelliklere oldukça benzer bir davranış gösterir. Bu özelliğinden dolayı ötektik karışımlar ısıl enerji depolama uygulamaları için büyük bir potansiyele sahiptirler. Pek çok sayıda organik ve inorganik bileşiklerin ötektikleri literatürde mevcuttur (Lane, 1983; Hasnain, 1998; Jotshi et al., 1992). Bu ötektiklerden bazıları Çizelge 2.7'de verilmektedir. Bu ötektikler erime noktalarına göre soğutma orta veya düşük sıcaklıkta kat kollektörlü pasif solar enerji depolama amacıyla kullanılabilirler.

Çizelge 2.7. Bazı organik ve inorganik ötektik karışımlar

Inorganik Ötektikler	Erime noktası, °C	Füzyon gizli ısı (kJ/kg)
% 49,3 MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O + % 50,7 Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	58	132,3
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (% 32,5)H <sub>2</sub> O(% 41,4), NaCl(% 6,66), NH <sub>4</sub> Cl(% 6,16)	13	146
% 61,5 Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O + % 38,5 NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	51	131,3
% 58,3 Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O + % 41,7 MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	58	106
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O + CaBr <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	14	140
Organik Ötektikler		
Laurik-kaprik asit	18	120
Laurik-palmitik asit	33	145
Laurik-stearik asit	34	150
Palmitik-stearik asit	51	160



Yüksek kristal polimerler (yüksek yoğunluktaki polietilen) çapraz bağlar sayesinde iyi bir enerji depolama maddesi olma özelliği taşır. Salyer and Botham (1978), polimerlerdeki bu çapraz yapının termal enerji depolamadaki uygunluğunu göstermişlerdir.

#### 2.3.3.4.1. Ötektik Tuz karışımları

Yüksek sıcaklıklarda inorganik tuzların ötektik karışımları önem arzeder. 500-1000°C gibi yüksek sıcaklıklarda istenen erime noktası için florlu bileşiklerin ötektikleri tercih edilir.

Ötektik herhangi bir karışımın entropisindeki değişim karışımı oluşturan bileşenlerin entropi değişimleri toplamına kabaca eşittir. Bu eşitlik;  $\Delta H = T_e \cdot \Delta S^*$  şeklinde yazılabilir. (Bu eşitlikte;  $T_e$ , erime sıcaklığını,  $\Delta H$  ve  $\Delta S^*$  ise sırasıyla FDM'nin entalpi ve entropi değişimini gösterir). Burada,  $\Delta S^*$  ne kadar büyük olursa  $\Delta H$ 'da o kadar büyük olur. Yüksek sıcaklık aralığında yüksek erime entropisine sahip maddeler ötektik tuz karışımları için belirleyici bileşenler olabilir. İstenilen erime noktasına sahip ötektik bileşimli karışımı seçmek için Ozava et al. (1980) tarafından bir kriter önerilmiştir. Bu kritere göre; ötektik karışım için entropi değişimi 500 J/kg K olan maddeler seçilir. Bu değer 127 °C'de 200 kJ/kg, 327 °C'de 300 kJ/kg'lık dönüşüm ısısına karşılık gelir. Yoneda and Takanashi (1978)'in inorganik ötektik tuz karışımları konusunda çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalarda, binaların ısıtılması amacı için en uygun tuz karışımının  $MgCl_2 \cdot 6H_2O - Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  (erime noktası: 59,1 °C) olduğu belirtilmiştir.

#### 2.3.4. Gizli Isı Depolama Maddelerinin Seçimi

Duyulur ısı maddelerinden farklı olarak; faz değiştiren maddeler belirli sıcaklık aralığında işlem görürler. Bu sebeple FDM'nin erime sıcaklığı ile sistemin işlem sıcaklığı

aynı olmalıdır. Tek bir FDM bütün uygulamalarda kullanılamaz. Kullanım amacına uygun FDM'nin seçimi için bazı önemli kriterleri içeren bir seri araştırma yapılmalıdır.

Gizli ısı depolama maddesi olarak düşünülen çok sayıda kimyasal bileşik ve karışım olmasına rağmen, bunların birçoğu, ekonomik, güvenlik veya genel fiziksel, kimyasal ve ısıl özelliklerinden dolayı tercih edilmezler. Daha önceki kısımlarda da belirtildiği gibi faz değişim maddelerinin seçimi hususunda birçok araştırma yapılmıştır (Lane, 1983) ve FDM seçiminde esas alınacak kriterler şunlardır:

#### **2.3.4.1. Faz Dönüşüm Sıcaklığı**

Hemen hemen her sıcaklık bölgesinde ısı depolama uygulaması mevcuttur. Fakat belirli bir uygulama için FDM seçiminde faz dönüşüm sıcaklığı ile ısıtma veya soğutma sisteminin çalışma sıcaklığının karşılaştırılması esastır (Lane, 1983).

#### **2.3.4.2. Füzyon Isısı**

Yüksek faz dönüşüm ısısı FDM'de aranan en önemli özelliklerden biridir. Dekahidrat ( $10 \text{ H}_2\text{O}$ ) ve dodekahidrat ( $12 \text{ H}_2\text{O}$ ) gibi yüksek hidratlaşma derecesine sahip tuzlar genellikle, büyük füzyon ısısına sahiptirler. Fakat, bu tuz bileşikler genellikle düzensiz ve yarı düzenli erime davranışı gösterirler. Örneğin, yarı düzenli eriyen tuz hidratlarda kristallenme esnasında faz ayrımı meydana gelmesinden dolayı ısı kapasitelerinde bir azalma gözlenir. Bu nedenle bu tip maddelere erime esnasındaki konveksiyonlu ısı transferini önleyecek bazı maddeler ilave edilir. Düzenli eriyen bir FDM düşük füzyon ısısına sahip olsa bile diğerlerine nazaran tercih edilir (Lane, 1983).

### 2.3.4.3. Faz Ayrımı

Gizli ısı depolamada depolama verimini etkileyen en büyük engel FDM'nin istenmeyen faz denge özelliklerine sahip olmasıdır. Bu sebeple, FDM'nin faz diyagramının çok iyi anlaşılması ısı depolama araştırmaları ve uygulamaları için önemlidir (Lane, 1983).

### 2.3.4.4. FDM'nin Doldurulduğu Kap (veya kapsül)

FDM'ye depoluk görevi yapacak olan kaplar sadece erimiş ısı depolama ortamını tutmakla kalmaz aynı zamanda da katı ve likit halde FDM'yi destekler bir yapı ve bir buhar engeli durumundadır. Bu kaplar, tuz hidratlarda nem kaybını ve nemlenmeyi önlemeli ve organik maddeler ise, buharlara karşı bir engel görevinde olmalıdır. Buhar basıncı arttıkça FDM'nin doldurulacağı kabın üstleneceği görevde artmaktadır. Bu kaplar ayrıca, genleşme ve erime esnasında ortaya çıkan zıt kuvvetlere dirençli olması bakımından dayanıklı olmalıdırlar. Küçük hacim değişimine sahip FDM'lere depoluk edecek kapların ise, daha az özellikte olması yeterlidir (Lane, 1983).

### 2.3.4.5 Yoğunluk

Verilen bir hacimde daha fazla bir ısının depolanması için yüksek yoğunluk önem arz eder. Bununla birlikte yoğunluk çoğu kez füzyon ısısının azalmasına bağlı olarak artar. Örneğin bir tuz hidrat iyonunun atom ağırlığı artarken yoğunluğu da artar, fakat birim kütle başına düşen füzyon ısısı azalır. Bununla birlikte, bir tuzun hidratlaşma derecesi artarken yoğunluk düşer, fakat yüksek su içeriğinden dolayı füzyon ısısı da artar (Lane, 1983).

### 2.3.4.6. Aşırı Soğuma ve Kristal Büyümesi

Aşırı soğuma olayı gizli ısı depolamada karşılaşılan problemlerden biridir

(özellikle tuz hidratlarda) . Etkili bir çekirdek oluşumuyla bu problem çözülebilir. Sistemin çalışma sıcaklığının 5-10 °C üzerinde eriyen bir FDM'nin depolama materyali olarak seçimi rastgele bir iştir. Bu seçim ısı kayıplarını minimize etmek ve iyi bir ısı transferini devam ettirmek için yeterli sıcaklık farkı sağlamak durumundadır. Birkaç dereceden daha fazla bir aşırı soğuma hali, depodan uygun ısı çıkışı sağlanarak engellenebilir. Aşırı soğumanın gözlenmediği bir halde bile, tabii olarak gerçekleşen yavaş kristal büyüme hızı, ısı çekilme hızını istenmeyen düşük bir değere kadar azaltabilir (Lane, 1983).

#### 2.3.4.7. Kimyasal Kararlılık ve Uygunluk

FDM'nin yarı kararlı veya tam kararlı erime ve katılaşma özelliğine bağlı olarak depolama kapasitesinde ve maddenin ısı performansında meydana gelecek bir azalma önemli bir problem teşkil eder. Ayrıca, oksidasyon, ısı ayrışma, hidroliz veya diğer reaksiyonlar başka özellikleri yönüyle kabul edilen bir FDM'nin ısı depolama maddesi olarak kullanılmasını engelleyebilir. FDM, kendisine depoluk edecek kapla bir kimyasal reaksiyona girmemelidir. İstenilen özelliğe sahip kapların temini kolay olsa da diğer yandan bu depolara uygun depolama materyalinin maliyetinin yüksek olması bu konuya ayrı bir sınırlama getirmektedir (Lane, 1983).

#### 2.3.4.8. Güvenlik

Güvenlik; FDM seçiminde önemli bir unsurdur. Materyaller toksik, korozif, yanıcı ve patlayıcı olma gibi benzeri hususlar yönüyle güvenli olmalıdır. Fakat şu nokta yine de unutulmamalıdır ki “ hemen hemen her kimyasal madde bir tehlike arz eder”. Dolayısıyla tüm FDM için uygun bir güvenlik seviyesi şarttır, fakat mutlak güvenlik bir aldanıştır.

FDM'nin zamanla zahmetli bir faktör haline gelmesi de güvenliği bakımından önem taşımaktadır. Örneğin, bazı organik materyaller yavaş bir difüzyon işlemiyle hareketli bir yüzey içerisinde buharlaştırılabilirler ve bu esnada bazı istenmeyen kokular meydana

Örneğin, depolama maddesi olarak seçilen naftalin çok sayıda faz dönüşümüne uğradığında istenmeyen bir koku yaymaya başlar (Lane, 1983).

#### **2.3.4.9. Ekonomi (Maliyet)**

Maliyet, FDM seçiminde önemli bir kriterdir. Bu ifade hiçbir zaman “en ucuz olan en iyidir” manasını taşımaz. Daha çok, maddelerin mali yönden etkin olmaları istenir. Yani, seçilecek madde ekonomik olarak kolay temin edilebilir olmalıdır. Bu da materyalin bol ve ihtiyaca cevap verebilecek nitelikte olmasıyla sağlanabilir.

Faz değişim maddelerinin geliştirilmesi konusunda çalışan araştırmacılar depolama ortamının seçiminde düşük maliyeti ana amaç edinmişler ve çalışmaların çoğu da yarı düzenli veya düzensiz eriyen maddeler üzerinde yapmışlardır (Lane, 1983; Garg et al., 1985; George, 1983; Kaygusuz, 1999).

#### **2.4. Termokimyasal Depolama**

Termokimyasal depolama sistemleri, endotermik tersinir bir kimyasal reaksiyon meydana getirmek için dışarıdan ısı alırlar ve daha sonra oluşan bu reaksiyon aldığı ısıdan daha fazla bir ısıyı reaksiyon sonunda ortama verir ve bu işlem tersinir olarak sürekli bir şekilde meydana gelir. Bina ısıtma ve soğutma gibi düşük sıcaklık uygulamaları için ısının depolanmasında kimyasal reaksiyonları kullanan sistemleri geliştirmek için yapılan teşvikler, duyulur ısı ve gizli ısı enerji depolama sistemlerine göre bazı avantajlar sağlarlar. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- a) Isı, çevre sıcaklığına yakın sıcaklıklarda depolanabilir ve bundan dolayı depolama tankının yalıtımı önemli bir problem teşkil etmez,
- b) Isı, özel kollektörler olmaksızın çevreden alınabilir ve böylece sistemin maliyetinden azalmalar sağlanabilir,

c) Enerji yükleme ve boşaltma sıcaklıkları sabit tutulabilir,

d) Kimyasal reaksiyonlarla ısı depolama, diğer depolama metotlarına göre daha büyük bir depo hacmi gerektirir,

e) Kimyasal reaksiyonla oluşan ısı, kayıplar olmaksızın depolanabilir ve kolayca transfer edilebilir.

Güneş enerjisini depolamak amacıyla kullanılacak olan reaksiyon aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

a) Reaksiyon tersinir olmalıdır,

b) Fotosentezleştirici ortama ilave edilsin veya edilmesin, reaktant atmosferdeki güneş ışınımını mümkün olduğu kadar fazla kullanmalıdır,

c) Reaksiyon sonunda depolanan enerji en az 200 kJ/kg değerinde olmalıdır,

d) Reaksiyon için seçilen maddeler ucuz olmalıdır,

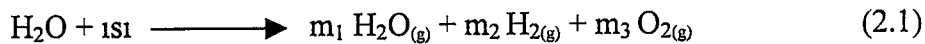
Bu tip enerji depolama sistemlerinin istenmeyen bazı özellikleri:

a) Reaksiyon ürünlerinin depolanmasında kullanılacak depoların maliyeti büyüktür,

b) Zehirlenme, yanma ve benzeri tehlikelere karşı alınan emniyet tedbirleri teknik ve ekonomik güçlükler doğurabilir,

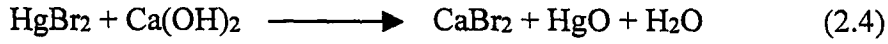
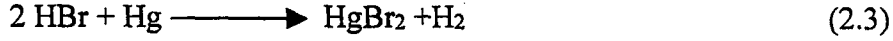
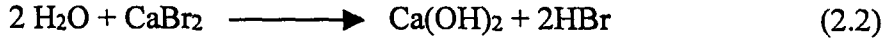
Her ne kadar düşük sıcaklıkta enerji depolama amacıyla kimyasal reaksiyonları kullanmak gittikçe cazip hale gelse de, henüz bu tür enerji depolama sistemleri pratikte yaygın değildir.

Termokimyasal reaksiyonlara tipik bir örnek olarak hidrojen üretimi verilebilir. Örneğin; su (buhar) 3000 K veya daha fazla sıcaklığa ısıtılırsa, hidrojen ve oksijene ayrılmaya başlar ve bu reaksiyon aşağıdaki gibi ifade edilebilir;



Burada,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  ürünlerin mol kesirlerini ifade etmektedir.

Termokimyasal proseslerde, hidrojen üretimi için iki veya daha fazla kimyasal reaksiyon kademeleri gerekmektedir. Örneğin; hidrojen 730 °C'de dört reaksiyon kademesinden geçilerek % 50 verimle oluşur:



#### 2.4. Faz Değişim Maddeleri İçin Isı Değiştiriciler

Gizli ısı enerji depolama (GIED) sistemi; toplanan enerjiyi ısı depolama maddesine ve daha sonrada ısıtma ortamına transfer etmek için bir ısı değiştiriciye sahip olmalıdır. GIED sistemlerinde kullanılacak ısı değiştirici aşağıda sıralanan ihtiyaçları karşılamalıdır.

a) Deponun enerjiyi hızlı bir şekilde depolaması ve geri vermesi için ısı değiştirici yüksek ve etkili bir ısı transfer hızı sağlamalıdır. Faz değiştiren ısı depolama maddelerinin bir çoğunun ısıl iletkenliğinin düşük olduğu dikkate alınır, ısı değiştirici kullanımının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkar (Hahne, 1996; Dinçer ve Dost, 1996). İyi bir ısı transfer hızı sağlamak için en iyi yöntem, depolama ortamında doğal yada zorlanmış konveksiyon etkilerini artırmaktır (FDM'nin karıştırılması gibi).

b) Isı değiştiriciler deponun ısı yüklemesi (şarj) ve ısı boşaltma (deşarj) periyotları süresince küçük sıcaklık farkları oluşturacak ve verimi artıracak şekilde dizayn edilmelidir.

c) Ayrıca ısı değiştiriciler yüksek ısı transferi sağlamalıdır.

Gizli ısı enerji depolama sistemlerinde kullanılan ısı değiştiriciler Pasif, Aktif ve Direk temaslı olmak üzere 3 grupta incelenebilirler.

### 2.5.1. Pasif Isı Değiştiriciler

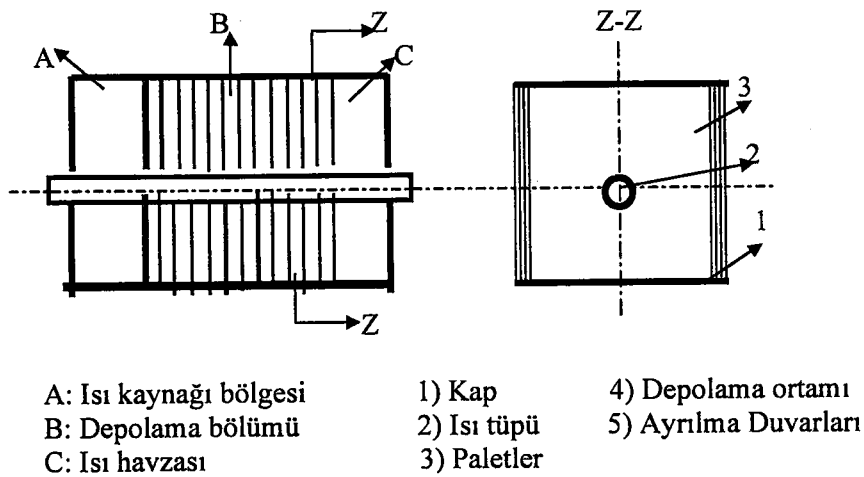
Bunlar hareketli parçaları olmayan ısı değiştiricilerdir. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, bu tip bir ısı değiştirici; küçük çaplı (30-50 mm) borulardan veya FDM ile doldurulmuş yassı tavalardan (20-30 mm derinlik) meydana gelir (Aydın, 1989; Arslan, 1993). Borular, birbirleriyle zarf boru tipi ısı değiştiricilerde olduğu gibi bağlanır ve ısı transfer akışkanı borular arasındaki boşluklardan dolaşır

Pasif ısı değiştiricilerinde aranan özellikler şunlardır:

a) Hızlı bir ısı yükleme (şarj) ve ısı boşaltma (deşarj) imkanı sağlamalı. Bu nedenle ısı iletim katsayısı yüksek olmalıdır.

b) Depolamanın ısı yükleme (şarj) ve ısı boşaltma (deşarj) periyotları esnasında meydana gelecek sıcaklık farkları küçük olmalıdır.

Verimli bir transfer işlemi için ısı alan ve veren ortamlar arasındaki sıcaklık farkı küçük olmalıdır. Bunun için ısı transfer katsayısının artırılması veya ısı transfer borusunun yarıçapının artırılması FDM ile ısı transfer akışkanı arasındaki temas yüzeyinden geçen ısı akışının yeterli seviyede olması gerekir.

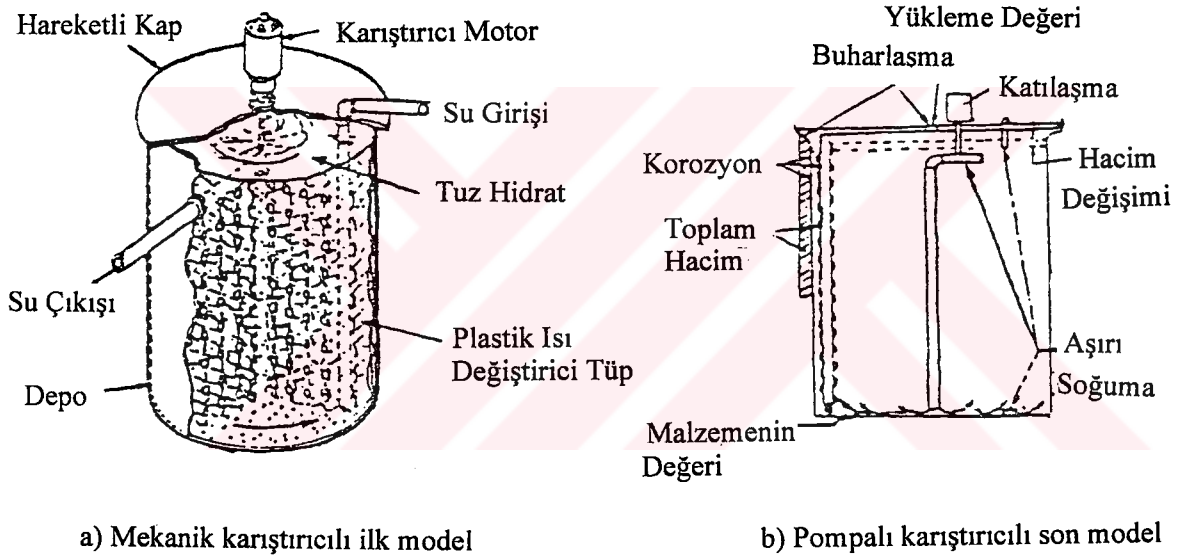


Şekil 2.7. Modüler kanatlı ısı borulu ısı esanjörünün boyutları (Aydın, 1989; Arslan, 1993)



### 2.5.2. Aktif Isı Değiştiriciler

Bu tür ısı değiştiriciler genellikle faz değiştiren ısı depolama maddesini karıştırarak özellikle tuz hidratlarda meydana gelen faz ayrışmasını önlemek için kullanılırlar. Isı depolama amaçlı kullanılan FDM, plastik şişeler, borular, teneke kutular ve plastik ince torbalar gibi aktif bir ısı değiştirici içerisine doldurulabilir (Aydın, 1989; Arslan, 1993). Fakat bu kapsül malzemesinin ısıl iletkenliği düşük olmamalıdır. Plastik kaplar pek çok uygulama için uygun olabilirler. Kapsüller, yüksek basınç düşüşlerine yol açmayacak ve iyi bir ısı transfer yüzeyi sağlayacak şekilde deponun içine yerleştirilmelidirler (Şekil 2.8).

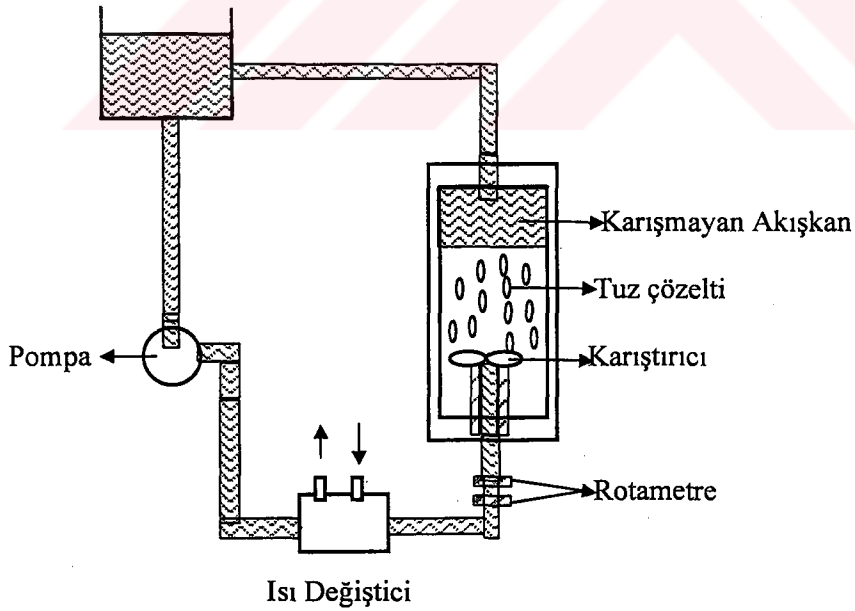


Şekil 2.8. Aktif bir ısı depolama sistemi (Aydın, 1989; Arslan, 1993)

Kapsül içerisine alınmış FDM ile yapılan depolama işlemi, ısı transfer ortamı olarak hava kullanan pasif sistemlere göre bazı avantajları vardır. Diğer yandan, ısı transfer ortamı olarak sıvı kullanıldığında aktif bir sistemde yığın depolama, ısı yükleme (şarj) periyodunda önemli avantaj sağlar. Aktif ısı değiştirici sistemleri; faz ayrımının önlenmesi, aşırı soğumanın minimuma indirilmesi gibi bir çok avantaj sağlarlar.

### 2.5.3. Direk Temaslı Isı Değiştirciler

Faz değişiminden dolayı, gizli ısı depolama maddelerindeki ısı transferi karmaşık bir yapıya sahiptir. Enerjinin depodan alınması esnasında sıvı FDM, ısı transfer yüzeylerinde donar ve oluşan hareketsiz katı malzeme tabakası yavaş büyüyerek ve erime ısını geri verir. Bu katı tabaka genellikle, düşük ısı iletkenliğine sahiptir ve kalınlığı arttıkça ısı transferini engeller. Birçok ısı depolama sisteminde enerji kaynağından alınan ısı, ara yüzeyden kondüksiyonla taşınır. Katılaşan FDM üzerinden uygun bir ısı transferi sağlamak için kullanılan ısı eşanjöründeki yüzey alanı/hacim oranının yüksek olması istenir. Ayrıca, faz değişimi esnasındaki hacim değişiklikleri sistem dizaynını daha da zorlaştırabilir ve sistem maliyetini artırabilir. Isı eşanjör maliyetini düşürmenin bir yolu FDM ile ısı transfer akışkanı arasındaki ara yüzeyi ortadan kaldırmaktır. Bunun için direkt temaslı bir ısı değiştirici kullanılması önerilmektedir. Aşağıdaki şekilde direkt temaslı bir ısı değiştiricisinin çalışma prensibi görülmektedir.



şekil 2.9. Direk temaslı ve karışmayan akışkanlı ısı değiştiricinin kullanıldığı bir ısı depolama sistemi (Aydın, 1989; Arslan, 1993)

## 2.6. Isı Transferine Genel Bir Bakış

### 2.6.1. Düzlem Bir Duvarda Isı Transferi

Fourier kanununun direk olarak uygulanabildiği düz bir duvarı göz önüne alalım. Fourier ifadesinin integrasyonu;

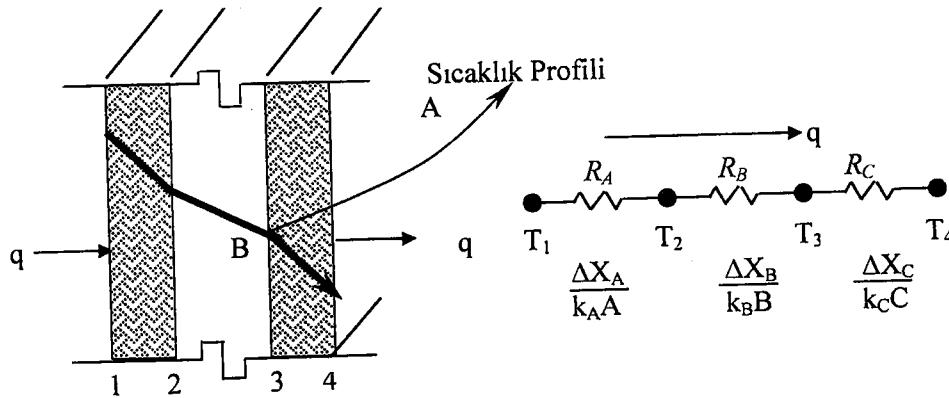
$$q = -(k A / \Delta X)(T_2 - T_1) \quad (2.7)$$

eşitliği elde edilir.

Bu ifadede  $\Delta X$ , duvar kalınlığı,  $T_1$  ve  $T_2$  duvar yüzeyi sıcaklıklarıdır. Eğer maddenin ısı iletkenliği sıcaklıkla birlikte lineer şekilde değişiyorsa;

$$q = (-k_0 A / \Delta X) [1 + b(T_1/2 + T_2/2) - T_{ref}]. (T_2 - T_1) \quad (2.8)$$

eşitliği yazılabilir (Aydın, 1989).



Şekil 2.10. Üç tabakalı düzlem bir duvardan tek boyutlu ısı transferi ve elektriksel benzeşimi (Aydın, 1989).

Şekil 2.10'da birden fazla tabaka olması halinde meydana gelecek sıcaklık gradientleri görülmektedir. Bu durumda ısı akışı;

$$q = -k_A A / (T_2 - T_1) / \Delta X_A = -k_B A / (T_3 - T_2) / \Delta X_B = -k_C A / (T_4 - T_3) / \Delta X_C \quad (2.9)$$

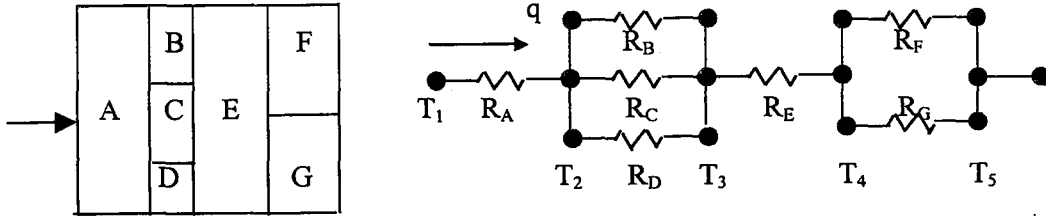
şeklinde yazılabilir. Ancak, ısı akışı tüm kesitlerde aynı olmalıdır. Bu üç denklemin aynı andaki çözümünüyle ısı akışı,

$$q = \frac{(T_2 - T_1)}{(k_A A / \Delta X_A) + (k_B A / \Delta X_B) + (k_C A / \Delta X_C)} \quad (2.10)$$

şeklinde yazılır. Buradan,

$$\text{Kondüktif ısı iletimi} = \frac{\text{Toplam sıcaklık farkı}}{\text{Toplam ısı direnç}} \quad (2.11)$$

Fourier denkleminin elektrik devreleri "ohm kanununu" ile benzerdir. Şekil 2.11'de görülen elektrik benzeşimi, hem seri hem de paralel ısı dirençleri kapsayan daha karmaşık problemlerin çözümünde kullanılabilir (Aydın, 1989).



Şekil 2.11. Çok tabakalı düzlem bir duvardan tek boyutlu ısı transferi (Aydın, 1989).

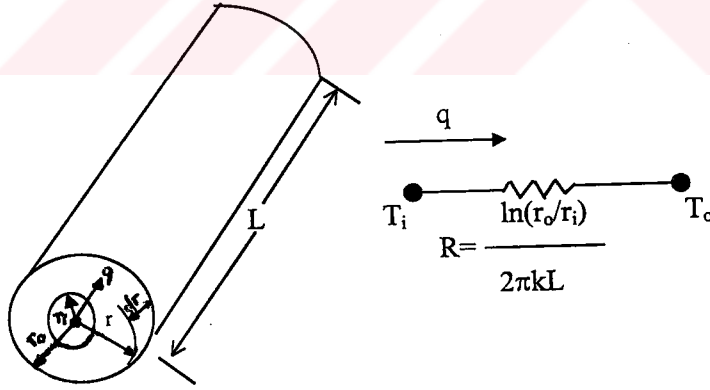
Bu tip karmaşık problemler için tek boyutlu ısı akış denklemi,  $q = \Delta T_{\text{toplam}} / \sum R_{\text{ısı}}$  şeklinde yazılabilir. Burada,  $R_{\text{ısı}}$ , düzlem duvarı oluşturan tabakaların ısıl direncini ifade eder.

### 2.6.2. Silindirik Sistemlerde Isı Transferi

İç yarıçapı  $r_1$ , dış yarıçapı  $r_o$ , uzunluğu  $L$ , iç yüzey sıcaklığı  $T_1$  ve dış yüzey sıcaklığı  $T_o$  olan uzun bir silindir sistemindeki (Şekil 2.12) ısı akış alanı,  $A$ ;

$$A = 2\pi rL \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.12. Silindirik bir sistemdeki ısı akışı ve elektriksel benzeşimi (Aydın, 1989).

Buna göre silindirik sistemler için Fourier kanunu aşağıdaki gibi yazılır;

$$q_r = -k A_r (dT/dr) = 2\pi r k L (dT/dr) \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} r = r_1 \text{ 'de} & \quad T = T_i \\ r = r_o \text{ 'da} & \quad T = T_o \end{aligned}$$

Yukarıda verilen sınır şartlarını kullanarak, (2.13) no'lu denklem,

$$q = \frac{2\pi k L (T_i - T_o)}{\ln (r_o/r_i)} \quad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda, ısı direnç;

$$R_{\text{ısı}} = \frac{\ln (r_o/r_i)}{2\pi k L} \quad (2.15)$$

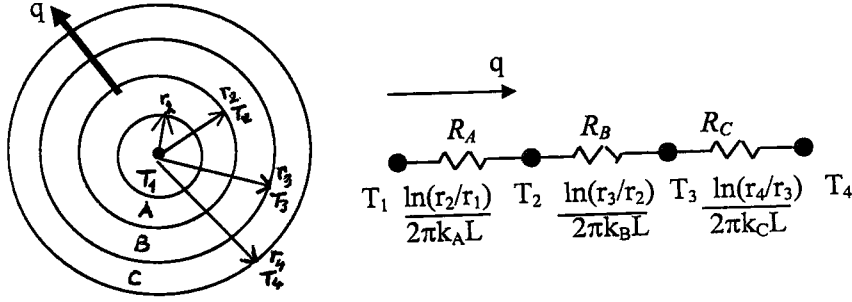
Isıl direnç eşitliği kullanılarak üç tabakalı sistem için;

$$q = \frac{2\pi L (T_1 - T_4)}{\frac{\ln (r_2/r_1)}{k_A} + \frac{\ln (r_3/r_2)}{k_B} + \frac{\ln (r_4/r_3)}{k_C}} \quad (2.16)$$

şeklinde yazılabilir.

### 2.6.3. Küresel Sistemlerde Isı Transferi

Sıcaklığın sadece yarıçapa bağlı bir fonksiyon olduğu küresel sistemler de, ısı transferi tek boyutlu olarak göz önüne alınır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Çok tabakalı bir silindirde ısı akışı ve elektriksel benzeşimi (Aydın, 1989).

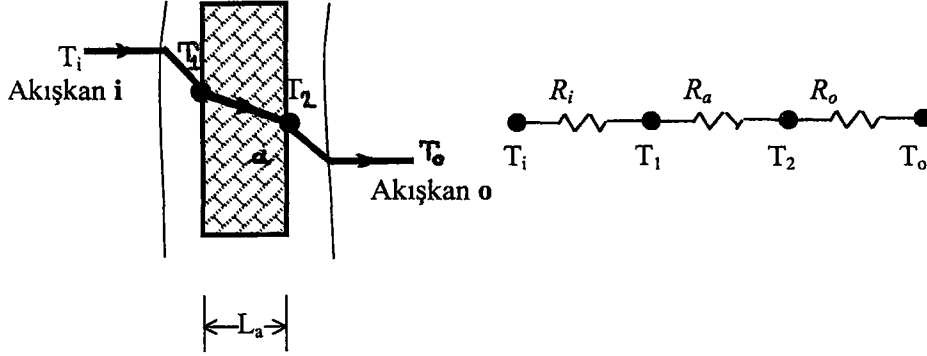
Böyle bir sistem için ısı akışı;

$$q = \frac{4\pi k (T_i - T_o)}{(1/r_i) + (1/r_o)} \quad (2.16)$$

## 2.6.4. Toplam Isı Transfer Katsayısı

### 2.6.4. 1. Düzlem Duvar Sistemi İçin Toplam Isı Transfer Katsayısı

Sabit bir termal iletkenliğe sahip, yüzey sıcaklıkları  $T_1$  ve  $T_2$  olan uniform bir düzlem duvarın bir yüzeyi  $T_i$  sıcaklığındaki  $i$  akışkanı ile öteki yüzeyi de  $T_o$  sıcaklığındaki  $o$  akışkanı ile temasta olsun (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. İki akışkan arasında yer alan homojen düzlem bir duvar ile akışkanlar arasındaki ısı transferi ve elektriksel benzeşimi (Aydın, 1989).

Newton absorblama kanununu ( $q = h A \Delta T$ ) bu sisteme uygulayarak,

$$q = h_i A (T_i - T_1) = (k_a A/L_a)(T_1 - T_2) = h_o A (T_2 - T_o) \quad (2.17)$$

$$q = \frac{(T_i - T_1)}{1/h_i A} = \frac{(T_1 - T_2)}{L_a/k_a A} = \frac{(T_2 - T_o)}{1/h_o A} \quad (2.18)$$

eşitlikleri yazılabilir. Buradan;

$$q = \frac{(T_i - T_o)}{1/h_i A + L_a/k_a A + 1/h_o A} = \frac{(\Delta T)_{\text{toplam}}}{\Sigma R_{\text{ısı}}} \quad (2.19)$$

eşitlikleri elde edilebilir (Aydın, 1989).

Şekil 2.14'de verilen sistem için ısı transfer katsayısı,  $U$  ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );

$$U = \frac{1}{1/h_i + L_a/k_a + 1/h_o} \quad (2.20)$$



Çok tabakalı sistem için, toplam ısı transfer katsayısı;

$$U = \frac{1}{1/h_i + L_1/k_1 + L_2/k_2 + \dots + 1/h_o} \quad (2.20)$$

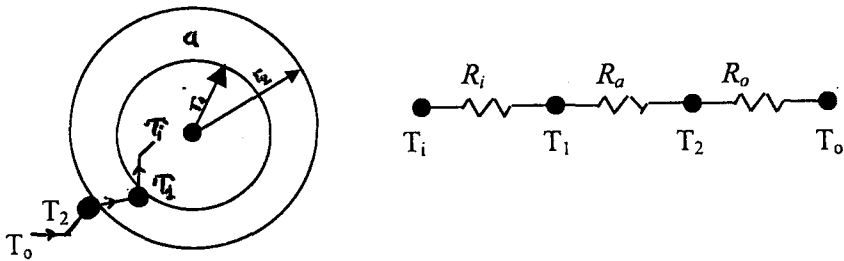
şeklini alır.

#### 2.6.4. 2. Radyal Sistemler İçin Toplam Isı Transfer Katsayısı

Şekil 2.15'deki tek tabakalı radyal bir sistem için;

$$R_i = \frac{1}{2\pi r_1 L h_i}, \quad R_a = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_a L}, \quad R_o = \frac{1}{2\pi r_2 L h_o} \quad (2.21)$$

$$\Sigma R_{th} = R_i + R_a + R_o = \frac{1}{2\pi r_1 L h_i} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_a L} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_o} \quad (2.22)$$



Şekil 2.15. Radyal bir sistemde ısı transferi ve elektriksel benzeşimi (Aydın, 1989).

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitliklere göre, ısı transfer katsayısı, ya silindirin iç yüzey alanı ya da dış yüzey alanına göre ifade edilir;

$$U = \frac{1}{1/h_i + r_1 \ln(r_2/r_1)/k_a + (r_1/r_2) 1/h_o} \quad (2.23)$$

$$U = \frac{1}{(r_2/r_1) 1/h_i + r_2 \ln(r_2/r_1)/k_a + (r_1/r_2) 1/h_o} \quad (2.24)$$

Çok tabakalı silindirik bir sistem için;

$$U = \frac{1}{(r_n/r_1) 1/h_i + r_n \ln(r_2/r_1)/k_i + \dots + r_n \ln(r_n/r_{n-1})/k_{n-1} + 1/h_o} \quad (2.25)$$

### 2.6.5. Isı Transfer Yüzeyi

Isı transfer hesaplamaları ısıtma yüzeyi üzerinden yapılır ve  $\text{Btu}/(\text{ft})^2(\text{st})$  biriminden ifade edilir. Çok özel haller dışında, ısıtma yüzeyleri borulardan yapılır. Isı transfer debileri boruların iç ya da dış yüzeyi üzerinden hesaplanır. Isı transferinin hangi yüzey üzerinden gerçekleştirileceği tamamen keyfi olarak seçilir. Nümerik değer yüzeye bağlı olarak değiştiği için, ısının hangi yüzey üzerinden taşındığı belirtilmelidir (Aydın, 1989).

### 2.6.7. Akışkanın Ortalama Sıcaklığı

Bir akışkan ısıtıldığında veya soğutulduğunda, sıcaklığı akımın kesiti boyunca değişir. Akışkan ısıtıldığı takdirde, sıcaklığı boru cidarında maksimum olup akımın merkezine doğru yavaş azalır. Akışkan soğutulduğu takdirde ise, sıcaklık boru cidarında minimum olup, merkeze doğru artar. Akım sıcaklığı, söz konusu kesitten geçen akışkanın adyabatik olarak karıştırılarak (uniform sıcaklık elde edilinceye kadar) ulaşılan sıcaklıktır. Bu sıcaklık da akışkanının ortalama sıcaklığıdır (Aydın, 1989).

### 2.7. Faz Değişimiyle Enerji Depolamada Isı Transferi ve Isı Transfer Problemleri Üzerine Genel Bir Bakış

Faz değiştiren madde kullanılarak ısı depolama sisteminin dizaynı için FDM'deki ısı transferi ve faz değişimi süreçleri hakkında sayısal bilgiler gereklidir. Erime yüzeyinin ısıtılan yüzeyden uzaklığı, sıcaklık dağılımı, duyulur ısı ve gizli ısı olarak depolanan oran gibi konular bu kapsamda incelenebilir.

Erime ve katılaşma sürelerini içeren ısı iletimi problemleri çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir. Literatürde bu konuya ilişkin bir çok çalışmalara rastlamak mümkündür (Ozawa et al., 1980; Telkes, 1980; Cao and Faghri, 1991). Değişken özellikleri ve hareketli sınırlardan dolayı bu problemlerin çözümü zordur. Faz değişimi içeren ısı iletimi problemlerinin analizinde kullanılan metotlar; tam integral, varyasyonel, karmaşık, tam nümerik ve benzeri diğer metotlardır. Katı ve sıvı fazlar arasındaki yoğunluk farkları ve sıvıdaki sıcaklık değişimlerinden dolayı yoğunluk farklarından dolayı oluşan yüzme (sıvı üzerinde durma) kuvvetleri, sıvı içerisinde konvektif hareketler oluşturabilir. Analizleri basitleştirmek için, birçok araştırmacı, verilen bir fazın özelliklerinin sıcaklıktan bağımsız olduğunu varsaymaktadır. Ayrıca, konveksiyon etkisi ve sıvının aşırı soğutulmasından (veya katının aşırı soğutulmasından oluşan etki genellikle dikkate alınmamaktadır. Gizli ısı enerji depolamada ısı transfer problemlerinin çözümü

için kullanılan bazı metotlar şunlardır: İntegral metod (Isı denklđi integral metodu), Değişim formülizasyonu, Etkili ısı kaynağı metodu (İntegral denklem), Green fonksiyonu yaklaşımı, Perturbation metodu, Entalpi metodu, Embedding tekniği, Değişken Eigenvalue yaklaşımı, Elektriksel ađ analog metodu, Sonlu farklar metodu, Sonlu elemanlar metodu.



### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Materyaller

##### 3.1.1. Deneysel Çalışmalarda FDM Olarak Kullanılan Kimyasallar

Aşağıdaki çizelgede detaylı kimyasal özellikleri verilen kimyasal maddelerin enerji depolama özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda ısı transfer akışkanı olarak saf su kullanıldı.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan faz değişim materyalleri

Maddenin adı	Kapalı formül	Üretici firma	Safılık derecesi	Kullanılan miktar
Stearik Asit	$C_{18}H_{36}O_2$	Merk	% 90	950 g

uzunluğunda, 50 mm çapında ve 2 mm et kalınlığındadır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). İncelenen kimyasal madde ısı değiştiricinin üçte birlik kısmı boş kalacak şekilde bu iki bakır boru arasına üst kısımdan dolduruldu. İncelenme işlemi tamamlanan kimyasal madde ise, ID'nin alt kısmından boşaltılarak alındı. Ayrıca, ısı kayıplarını önlemek için ısı değiştirici 20 mm kalınlığında cam pamuğu ile izole edildi.

### **3.1.2.2. Termorezistanslar**

Termorezistanslar, FDM'nin farklı radyal ve eksenel mesafelerdeki erime ve katılaşma periyotlarına ait sıcaklık değerlerini yüksek hassasiyetle ölçmek amacıyla kullanıldı. Pt-100 tipi Platin Rodyum/Platin (Pt-Rh/Pt) malzemedendir, sıcaklık algılama aralığı,  $-50^{\circ}\text{C}$  ile  $+150^{\circ}\text{C}$  olan ve 1 m uzunluğundaki 12 adet termorezistans deney setine yerleştirildi. Bu 12 adet termorezistansın ısı değiştirici üzerine monte edililişi Şekil 3.1. ve 3.2'de görölmektedir. 1m uzunluğunda kablolu, 10mm (4 adet), 20mm, (4 adet), 30mm (4 Adet) ölçüm uçlu toplam 12 adet termoeleman, eksenel yönde sırasıyla; 20mm, 60mm, 100mm ve 140mm mesafelerde ısı değiştiricisi (ID) üzerine monte edildi (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2.).

### **3.1.2.3. Dijital Sıcaklık Ölçer (Termometre)**

Sistemde dolaşan ısı transfer akışkanının (su) ısı değiştiricisine giriş ve ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklıklarını ölçmek için Ni-Cr/Ni malzemedendir yapıldı dijital göstergeli ve üç haneli okuma yapabilen iki adet dijital termometre kullanıldı.

### **3.1.2.4. Sıcaklık Tarayıcı Cihaz**

Bu cihaz, faz değiştiren maddenin erime ve katılaşma periyotlarına ait sıcaklıkları 12 ayrı noktadan ölçmek amacıyla kullanıldı. Sistek TRC-12 markalı bu cihaz, sıcaklık

kanal numarasını ve sıcaklık değerini ayrı ayrı gösteren iki adet dijital göstergeli ve programlanabilir özelliktedir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4.).

### 3.1.2.5. Akışmetre (Debimetre)

Farklı ısı transfer hızlarında FDM'nin erime ve katılaşma davranışlarını gözleyebilmek amacıyla, Gemü markalı ve 640 l/h akış hız kapasite ölçekli (suya göre birimlendirilmiş; 100 l/h ölçekli) bir akışmetre kullanıldı (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4.).

### 3.1.2.6. Sıcaklık Kontrol Aleti

Erime ve katılaşma periyotları süresince sistemde dolaşan suyun sıcaklıklarını sabit bir değerde tutmak amacıyla kullanılan Tecnologice TDF 11 markalı bu cihazın teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 3.2. Sıcaklık kontrol aletinin teknik özellikleri

Teknik özellikler	
Ölçüm aralığı	-50 °C – 150 °C,
Hassasiyeti	± 0,5 °C
Voltaj	12, 24 VAC/VDC, 110, 230, VAC ± % 10

İstenilen sıcaklık değerine elle (manuel) olarak programlanabilen bu cihaz sıcaklığı iki haneli verebilen bir dijital göstergeye sahiptir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4.).

### 3.1.2.7. Isıtıcılar

Sistemde dolaşan ısı transfer akışkan sıcaklığını 0°C ile 100°C arasında değiştirmek için, elle ayarlı, iki adet Termowatt markalı (10 A, 380 V) ısıtıcı kullanıldı (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4.).

### 3.1.2.8. Sirkülasyon Pompası

Isı transfer akışkanı olarak kullanılan suyun sirkülasyonu için kullanılan elle ayarlı, Alarko (PVO-25) markalı bu aletin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

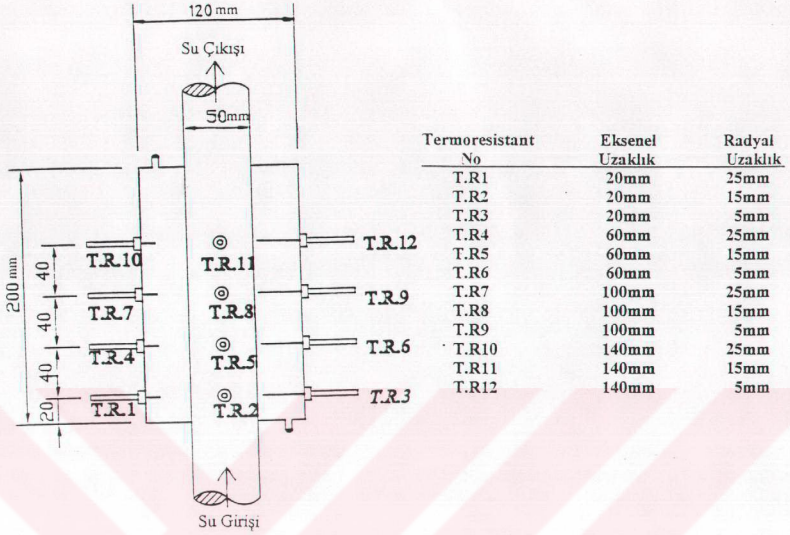
Çizelge 3.3. Sirkülasyon pompasının ait teknik özellikleri

Teknik özellikler	
Sıcaklık Aralığı	-1 °C – 110 °C
Ortam sıcaklığı	Maksimum 40 °C
Sirkülasyon basıncı	10 bar
Voltaj aralığı	1-230 V
Güç	Maksimum 83 W
Frekans	50 Hz

### 3.1.2.9. Su Banyoları ve Diğer Elemanlar

Erime/katılma işlemleri için gerekli sıcak ve soğuk suyu sağlayan 600 mm\*250 mm\*200 mm ebatlarında izolasyonlu ve çelik malzemedeki yapıları iki adet sabit sıcaklık banyosu kullanıldı. Sistemde ayrıca, beş adet T-tipi vana ve bağlantılar için ısıya dayanıklı kauçuk hortumlar kullanıldı. Sistemde yer alan tüm elemanların yerleşimi için çelik raf malzemesi kullanıldı (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4.).

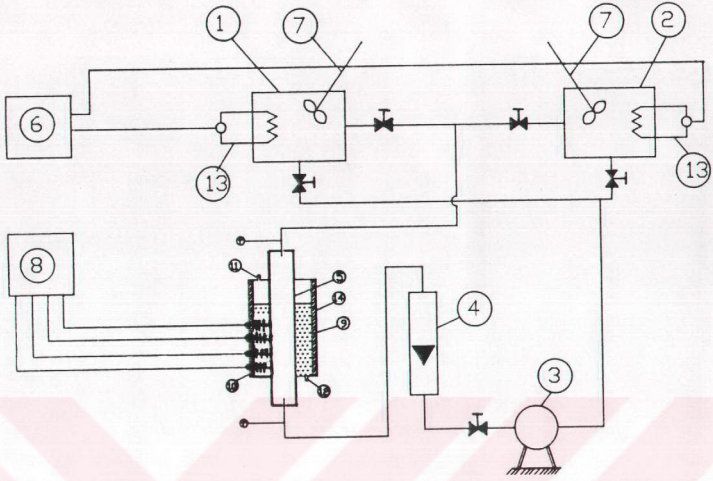




Şekil 3.1. Isı değiştiricisinin genel görünümü ve termorezistansların yerleşim düzeni

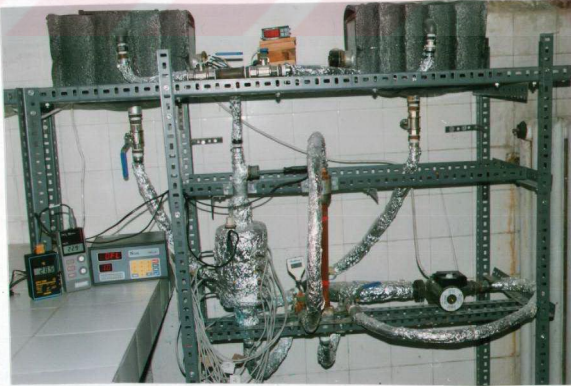


Şekil 3.2. Isı değiştiricisi ve akışmetreye ait fotoğraf görüntüsü



1: Soğuk su banyosu, 2: Sıcak su banyosu, 3: Sirkülasyon pompası, 4: Akışmetre (debimetre), 5: Isı değiştirici, 6: Sıcaklık kontrol aleti, 7: Karıştırıcı, 8: Sıcaklık tarayıcı cihaz, 9: Faz değiştiren kimyasal madde (FDM), 10: Isıtıcı, +: Termoresistanslar ve dijital sıcaklık ölçer.

Şekil 3.3. Deney sisteminin genel görüntüsü



Şekil 3.4. Deney düzeneğinin fotoğraf görüntüsü

### 3.1.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Analiz Teknikleri

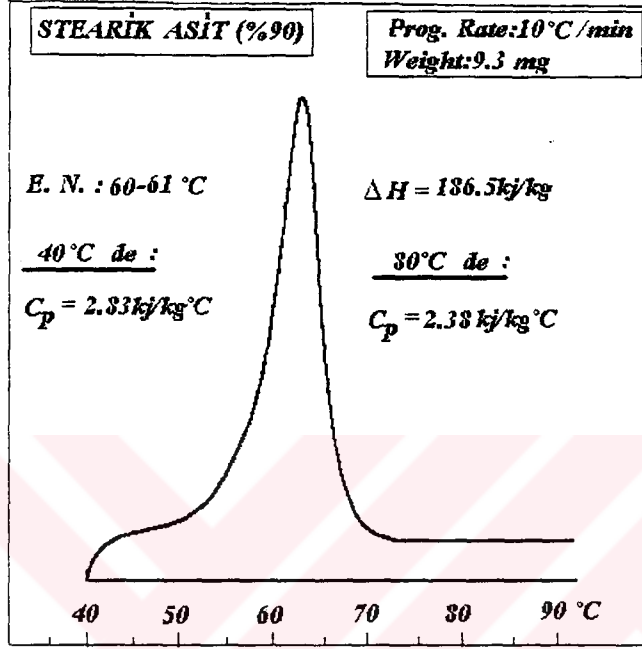
#### 3.1.3.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analiz Tekniği

Enerji depolamada kullanılabilirliği incelenen stearik asit ( $C_{18}H_{36}O_2$ ), palmitik asit ( $C_{16}H_{32}O_2$ ) ve ötektik karışımının (% 65,7 miristik asit;  $C_{14}H_{28}O_2$  + % 34,3 stearik asit;  $C_{18}H_{36}O_2$ ) erime noktası (veya aralığı), füzyon entalpisi, katı ve sıvı hal spesifik ısıları gibi gizli ısı depolamada kriter kabul edilen termofiziksel özellikler DSC analiz tekniğiyle tayin edildi. Analizler, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde (Gebze) yapıldı. Analiz işleminde kullanılan bu cihazın teknik özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

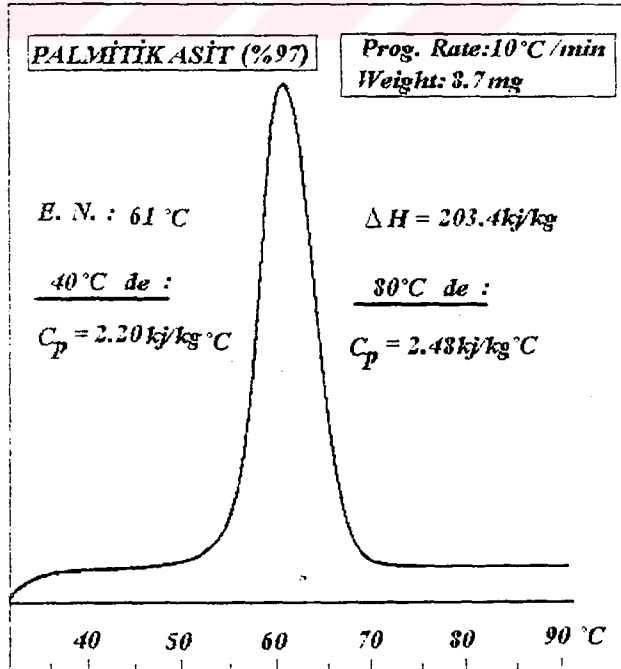
Çizelge 3.4. DSC Cihazının teknik özellikleri

Teknik özellikler	
Marka	Dupont Instruments 910
Sıcaklık aralığı	(25 – 600) °C – (-180) °C
Soğuma aralığı	10 °C/dak. – (-110) °C/dak.
Numune boyutu	0,5 – 5 mg
Numune hacmi	0,05 ml
Numune kapları	Alüminyum
Atmosfer	2 Torr; Ön ısıt. Dinamik gaz tasfiyeli
Sel (Hücre) hacmi	2 ml
Sıc. Okuma hassasiyeti	± 1 °C
Diferansiyel termoçift	Cr – Al /Al
Kontrol termoçift	Platin II
Kalorimetrik algılama	0,05 – 50 mcal/s
Kalorimetrik hass.	± % 1 (metal numunelerde)

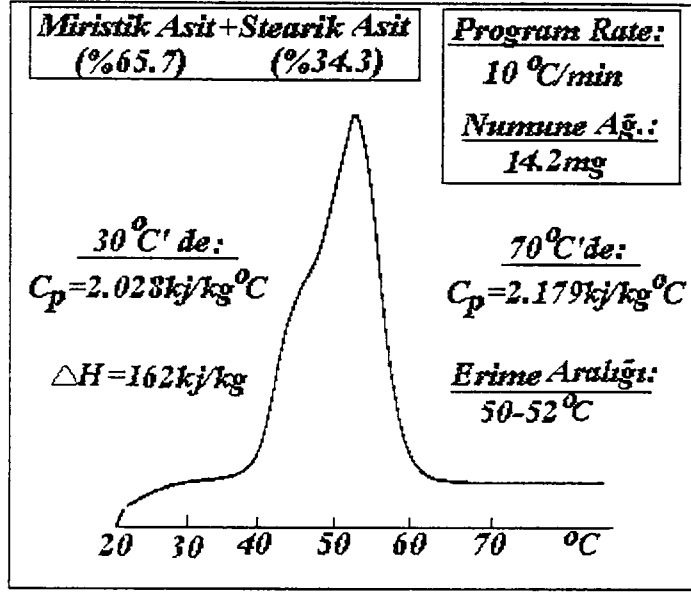
Deneysel çalışmalarda kullanılan her bir FDM'ye ait DSC eğrileri sırasıyla Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7.'de verilmiştir. Kriter kabul edilen bu termofiziksel özellikler DSC analiz tekniğiyle aşağıdaki gibi tayin edildi;



Şekil 3.5. Stearik asit'e ait DSC eğrisi



Şekil 3.6. Palmitik asit'e ait DSC eğrisi



Şekil 3.7. Ötektik karışım (% 65,7 Miristik asit + % 34,3 Stearik asit) için DSC eğrisi

### 3.1.3.1.1. Füzyon Entalpisi ve Erime Noktası (veya aralığı)

DSC eğrisinin maksimum noktaya ulaştığı sıcaklık ya da sıcaklık aralığı incelenen FDM için erime noktasını verir. Yine, DSC analiz eğrileri kullanılarak her bir yağ asiti ve ötektik karışım için erime entalpisi, ( $\Delta H_e$ ) ve farklı sıcaklıklardaki spesifik ısıları ( $C_{p,k}$  ve  $C_{p,s}$ ) sırasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplandı.

$$\Delta H_e = (A/m)(60 B E \Delta Q_s) \quad (3.1)$$

$$C_p = \frac{(60 E \Delta Q_s)}{H_r} \frac{\Delta Y}{m} \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerde,  $\Delta H_e$ , füzyon erime entalpisini veya gizli ısını (kJ/kg), A, pik alanını ( $\text{cm}^2$ ); m, numune miktarını (mg); B, Tarama zamanı için kalibrasyon değerini (dak./cm), E, deney sıcaklığındaki hücre kalibrasyon katsayısını, (mW/mV);  $\Delta Q_s$ , Y eksen aralığı (mcal/s);  $C_p$ , Sabit basınçtaki ısı kapasitesini veya spesifik ısını (J/gr °C veya

mc<sub>al</sub>/mg °C);  $H_r$ , Isıtma hızını (°C/dak.);  $\Delta Y$ , Y eksenindeki yer değişimini (kalorimetrik fark veya eğrinin artmaya başladığı Y eksenini değeri ile base-line çizgisi arasındaki mesafe, (cm) gösterir.

## 3.2. Deneysel Çalışmalar

### 3.2.1. Deney Sisteminin Kalibrasyonu

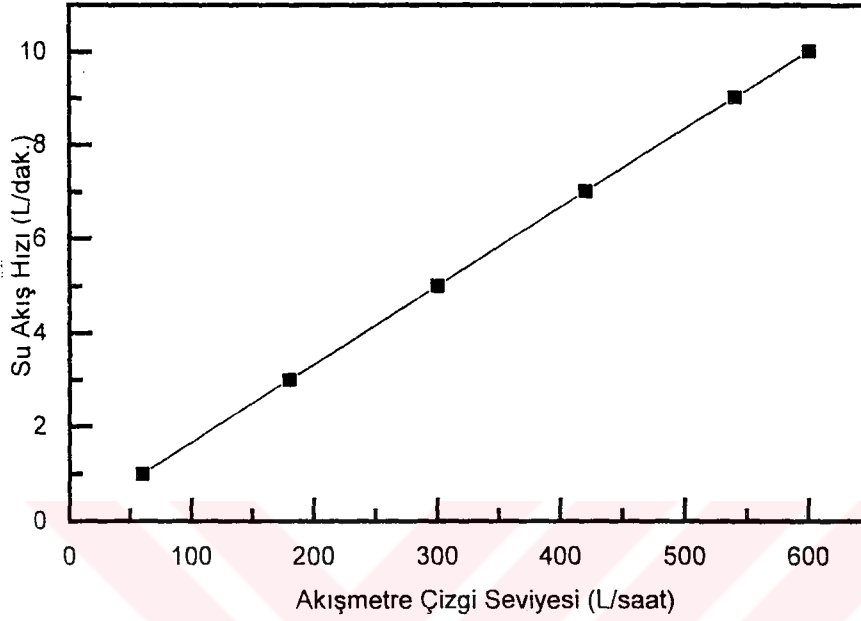
Yapılan tüm deneysel işlemlerin istenilen hassasiyet ve verimle sonuçlandırılabilmesi için laboratuvarında oluşturduğumuz deney sisteminde yer alan tüm elemanlar ayrı ayrı kalibre edildi.

Sıcaklık kontrol cihazının kalibrasyonu için sabit sıcaklık banyosunda bulunan belli bir miktar su kontrol cihazıyla programlanan sıcaklık değerine kadar ısıtıldı. Termal dengeye ulaşıldıktan sonra  $\pm 0,5$  °C ölçüm yapabilen dijital bir termometre ile banyo sıcaklığı ölçüldü ve kontrol cihazı üzerinde programlanan değerle karşılaştırıldı. Cihaz yardımıyla bu iki değerin birbirine eşitlenmesiyle birlikte kalibrasyon işlemine son verildi.

Sıcaklık tarayıcı cihazın kalibrasyonu için ısı değiştirici 900 g Stearik asitle dolduruldu. Daha sonra sabit debide (3 l/dak.) ve sabit sıcaklıktaki (80 °C ) su sistemden 5 saat süreyle sirküle edildi. Bu süre boyunca suyun ısı değiştiricisine giriş ve çıkış sıcaklıkları kimyasal maddenin ısınma ve faz dönüşüm sıcaklıkları 5 dakika aralıklarla termorezistanslar yardımıyla sıcaklık tarayıcısından kaydedildi. Böylece sıcaklık tarayıcı cihaz ve termorezistansların hassasiyetle ölçüm yaptığı gözlemlendi.

Deney ölçümleri süresince sistemden sürekli sirküle olacak suyun akış hızının kalibrasyonu için akışmetre içerisindeki rotametre sırasıyla 60, 180, 300, 420, 540, 600 l/saat işaretli çizgi seviyelerine ayarlanarak birim zamanda (dakika) her bir işlem için ayrı ayrı akışmetre çıkışından alınan suyun hacimleri bir mezür vasıtasıyla ölçüldü.

Elde edilen bu hacim bulguları kullanılarak akışmetre için aşağıda verilen kalibrasyon eğrisi elde edildi.



Şekil 3.8. Akışmetre için kalibrasyon grafiği

### 3.2.2. Deneyler

Her bir FDM için yapılan deneyler esnasında izlenen ortak metod aşağıda verilen işlem sırasına göre uygulandı:

a) Her bir deneyde Şekil 3.2’de görülen ısı değiştiricisi önce FDM ile dolduruldu (her biri için 950 g) ve madde ön erime işlemine tabii tutularak homojen bir hale gelmesi sağlandı. Sonra, her bir FDM için aşağıda verilen çizelgede belirtilen su akış debisi (hızları) ve su giriş sıcaklık şartlarındaki erime (ısı yükleme) periyotları gerçekleştirildi.

Çizelge 3.5. Her bir FDM'nin erime periyodu için su akış hızları (debileri) ve su giriş sıcaklık şartları

İncelenen faz değişim materyali (FDM)	Suyun giriş sıcaklığı, (°C)	Suyun akış debisi, (kg/dak.)
Stearik asit ( % 90) (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> )	74,0	3
	78,0	1,2 / 2,5 / 3,0 / 6,0
	81,0	3
Palmitik Asit (% 97) (C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> )	76,0	3
	78,0	1,2 / 2,5 / 3,0 / 6,0
	80,5	3
% 65,7 Miristik Asit (C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub> ) + % 34,3 Stearik Asit (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> )	65,0	1,3
	68,0	1,0 / 1,3 / 2,0 / 2,5
	70,0	1,3

Her bir FDM için yukarıdaki çizelgede verilen şartlarda gerçekleştirilen ısı yükleme (erime) periyotları esnasındaki radyal ve aksenal mesafelerdeki kimyasal madde sıcaklıkları ve su giriş - çıkış sıcaklıkları her 5 dakika aralıklarla sıcaklık tarayıcı cihaz yardımıyla kaydedildi (Bu bulgular ekler bölümünde verildi). Tüm noktalardan okunan sıcaklıklar ilgili maddenin erime sıcaklığının üzerine çıktığında erime periyoduna son verildi. Ayrıca, her bir FDM için belirtilen şartlarda gerçekleştirilen erime periyodu esnasındaki ısı kayıplarını (ID'den çevreye) hesaplayabilmek amacıyla ID yüzeyi ve izolasyon yüzey sıcaklıkları 5 dakika aralıklarla kaydedildi.

b) Erime periyodunun hemen ardından katılaşma periyoduna geçildi. Sonra, her bir FDM için aşağıda verilen çizelgede belirtilen su akış hızları (debileri) ve su giriş sıcaklık şartlarındaki ısı çekme veya boşaltma (katılaşma) periyotları gerçekleştirildi.



Çizelge 3.6. Her bir FDM'ye ait katılma periyodu için su akış debi (hızları) ve su giriş sıcaklık şartları

İncelenen faz değişim materyali (FDM)	Suyun giriş sıcaklığı, (°C)	Suyun akış debisi, (kg/dak.)
Stearik asit ( % 90) (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> )	34,0	3
	41,5	1,2 / 2,5 / 3,0 / 6,0
	45,5	3
Palmitik Asit (% 97) (C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> )	38,0	1,2 / 2,5 / 3,0 / 6,0
	42,0	2,5
	47,0	2,5
% 65,7 Miristik Asit (C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub> ) + % 34,3 Stearik Asit (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> )	39	1,0 / 1,3 / 2,0
	42	1,3

Her bir FDM için yukarıdaki çizelgede verilen şartlarda gerçekleştirilen ısı boşaltma (katılma) periyotları esnasındaki radyal ve aksel mesafelerdeki FDM sıcaklıkları ile ID'deki su giriş-çıkış sıcaklıkları her 5 dakika aralıklarla sıcaklık tarayıcı cihaz yardımıyla kaydedildi (Bu bulgular ekler bölümünde verildi). FDM için tüm noktalardan okunan sıcaklık değerleri ilgili maddenin katılma sıcaklığının altına düştüğünde katılma periyoduna son verildi. Ayrıca, her bir FDM için belirtilen şartlarda gerçekleştirilen ısı çekme (katılma) periyodu esnasındaki ısı kayıplarını (ID'den çevreye) hesaplayabilmek amacıyla ID ve izolasyon maddesi yüzeyinin sıcaklıkları 5 dakika aralıklarla kaydedildi.

c) Isı değiştirici dikey konumdan yatay konuma getirilerek belirli su akış debi ve giriş sıcaklığında her bir FDM için faz dönüşüm periyotlarına ait sıcaklıklar kaydedildi (Bu bulgular ekler bölümünde verildi).

d) Her bir FDM için faz dönüşüm sıcaklığı, faz dönüşüm süresi, radyal ve aksel

mesafelerdeki faz dönüşüm davranışını belirlemek için elde edilen sıcaklık bulguları erime/katılaşma zamanına karşı grafiğe geçirildi.

e) Erime-katılaşma periyotlarına ait duyulur ısı, erime periyodu esnasında FDM tarafından depolanan ısı,  $Q_{FDM}$ ; katılaşma süresince FDM'den çekilen enerji, katılaşma esnasındaki ID'den çevreye olan kayıp ısı miktarı ve her bir FDM için erime (ısı yükleme) ve katılaşma (ısı boşaltma) periyotlarına ait ısı fraksiyonları,  $Q_{fr}$  değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplandı ve zamana karşı grafiğe geçirildi.

$$\text{Duyulur Isı} = m C_{p,su} (T_{su \text{ gir.}} - T_{su \text{ çık.}}) \quad (3.3)$$

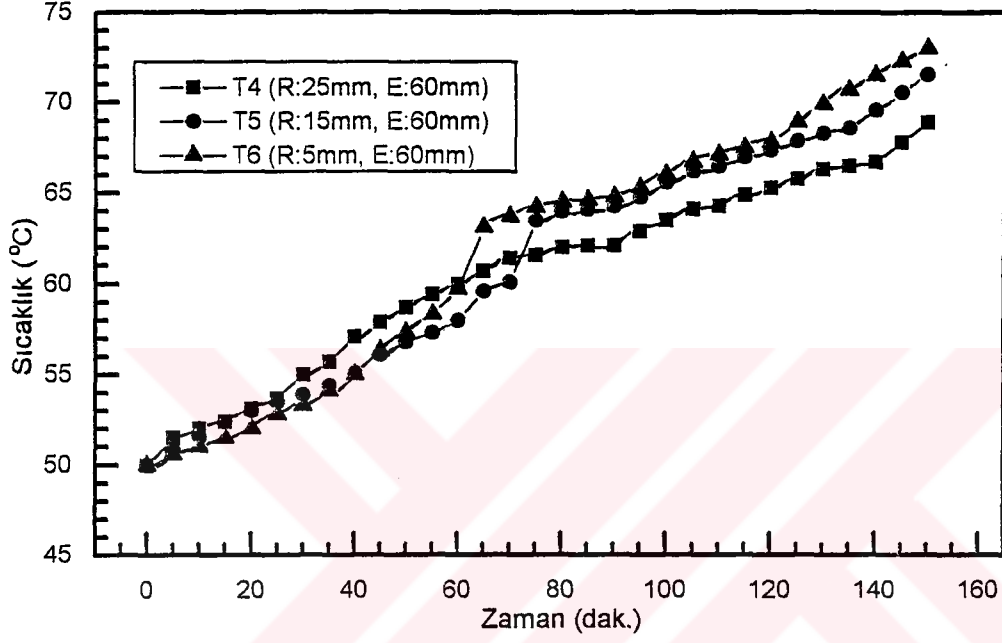
$$Q_{FDM} = m C_{p, FDM} (T_2 - T_1) + m \Delta H_e + \text{Isı Kaybı} \quad (3.4)$$

$$\text{Isı Kaybı} = \frac{2\pi \lambda L (T_{ID,ys} - T_{iz,ys})}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3.5)$$

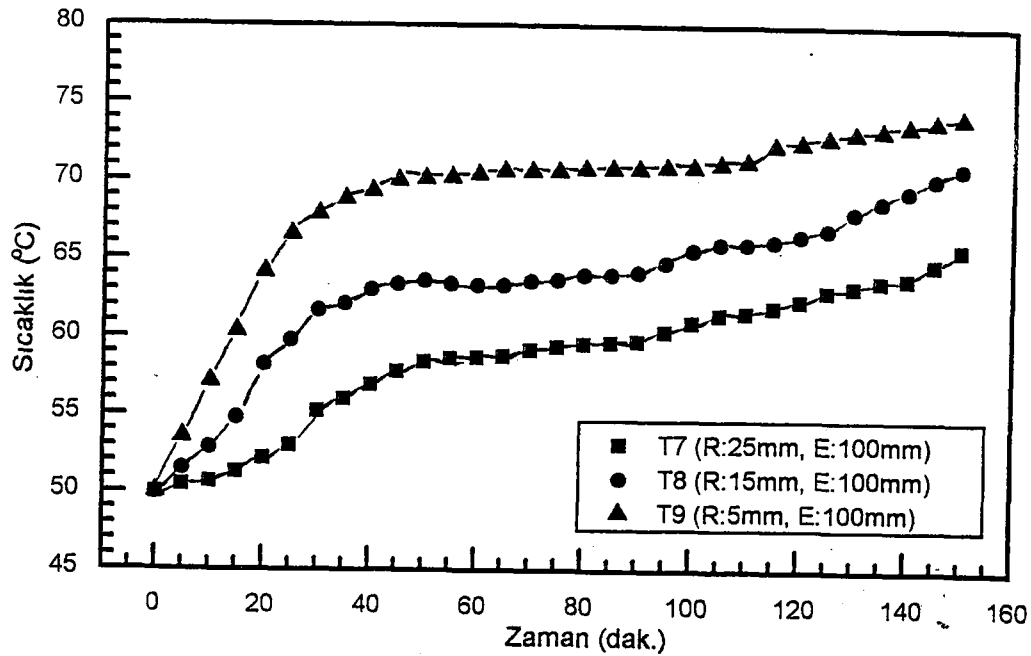
$$Q_{fr} = Q/Q_T \quad (3.6)$$

#### 4. DENEY SONUÇLARI

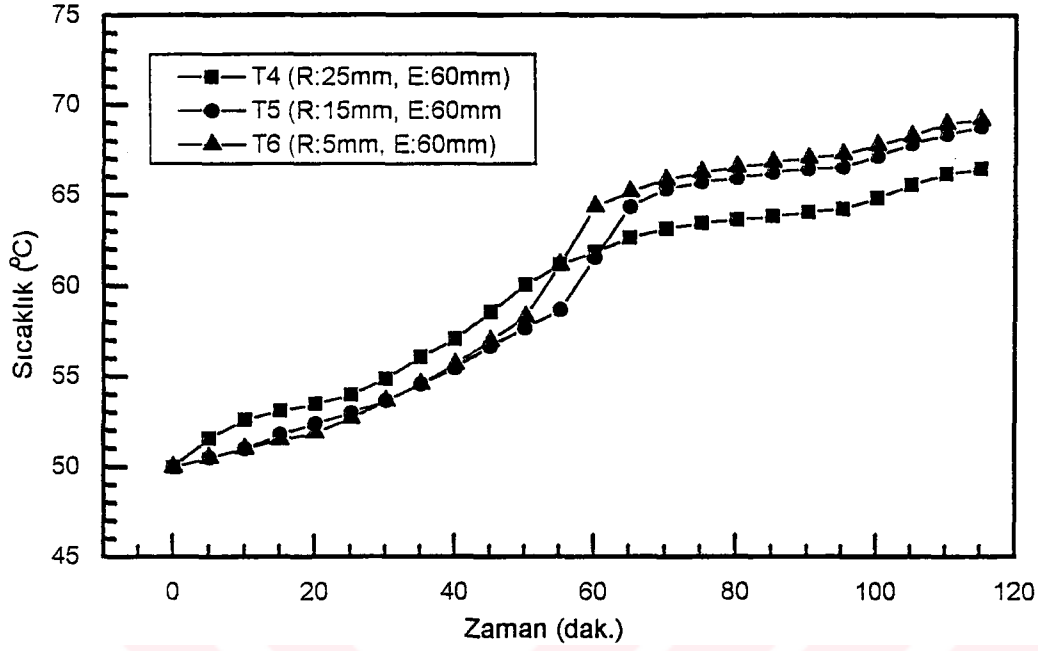
##### 4.1. Stearik Asit İçin Faz Değişim Eğrileri ve Isı Transfer Bulguları



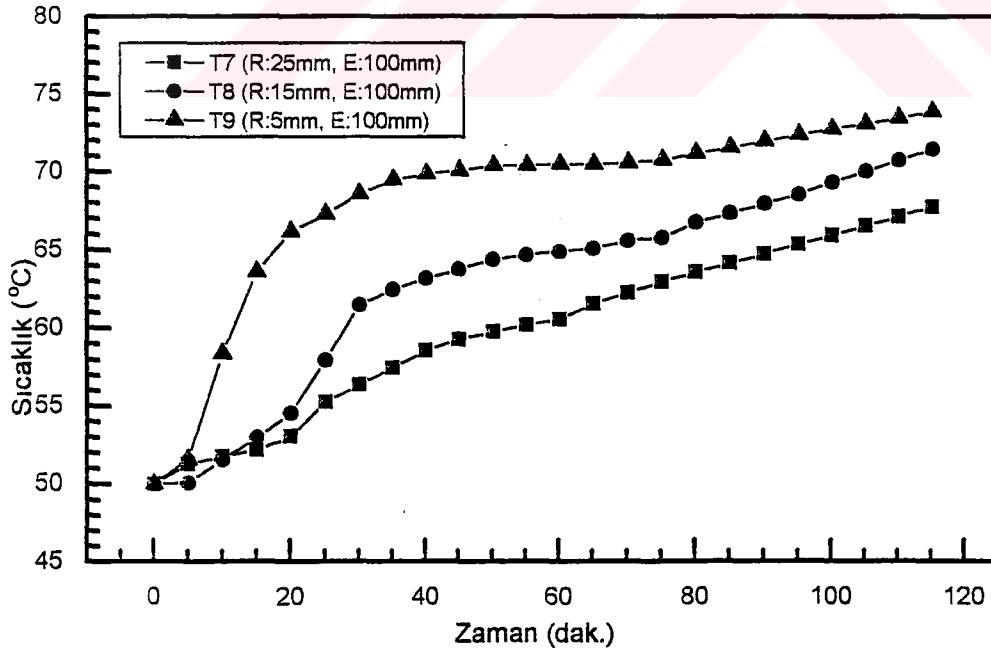
Şekil 4.1. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2kg/dak.)



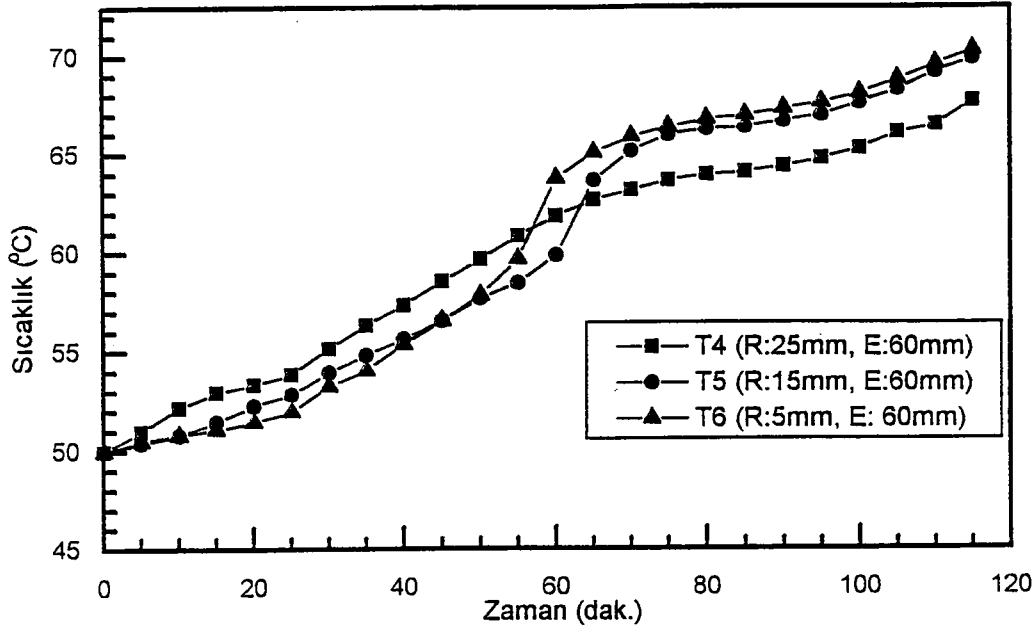
Şekil 4.2. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2kg/dak.)



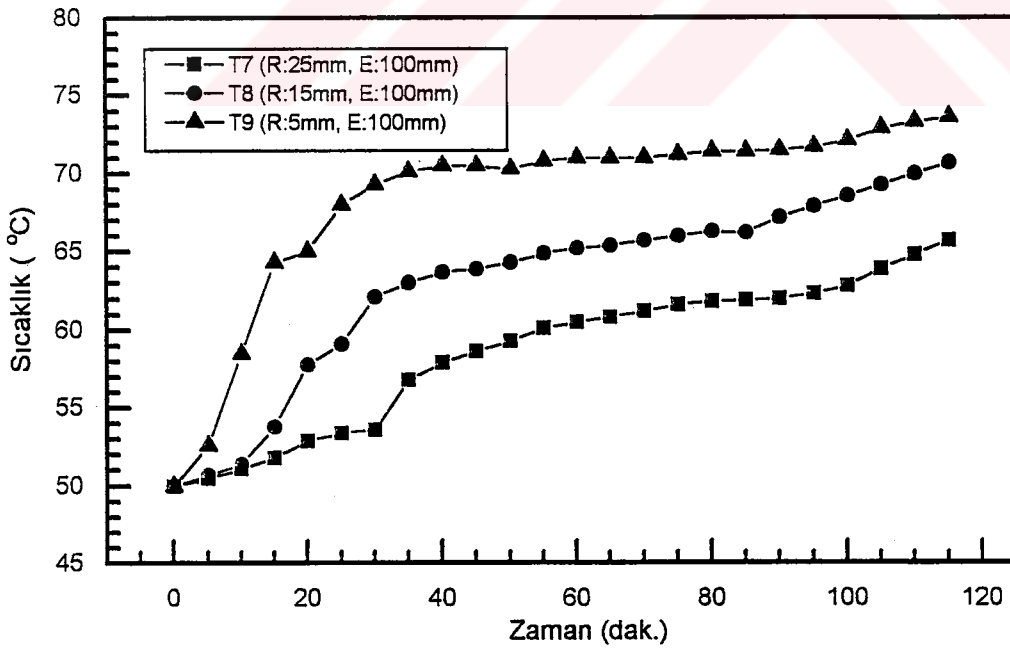
Şekil 4.3. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.)



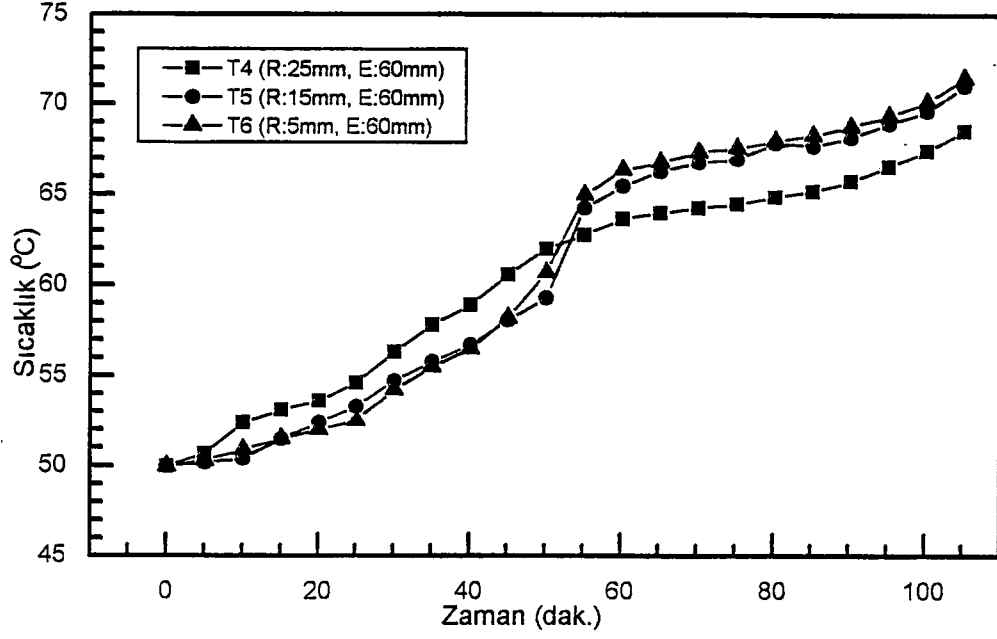
Şekil 4.4. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:2,5kg/dak.)



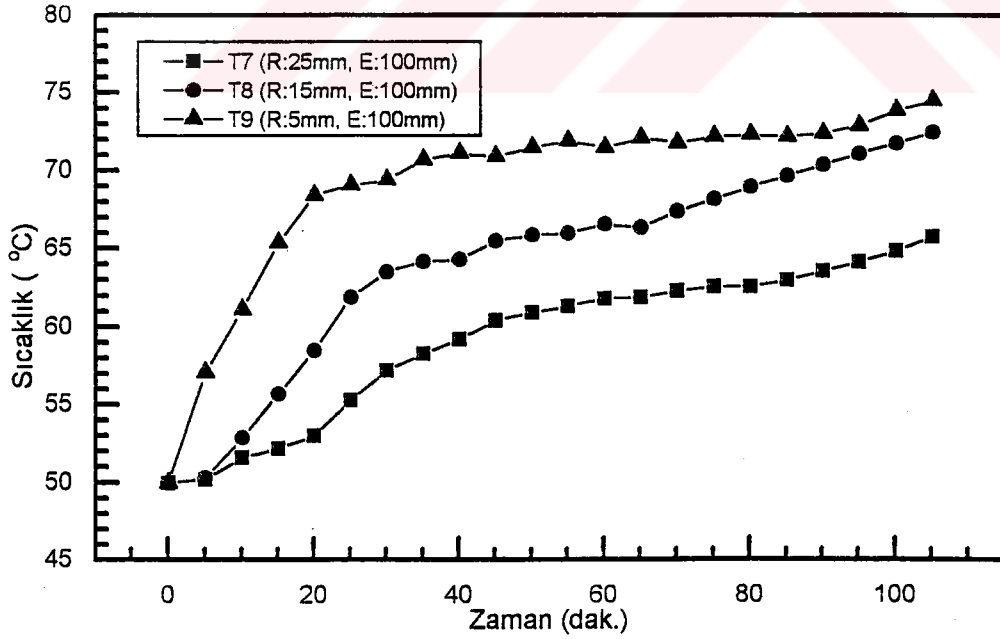
Şekil 4.5. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



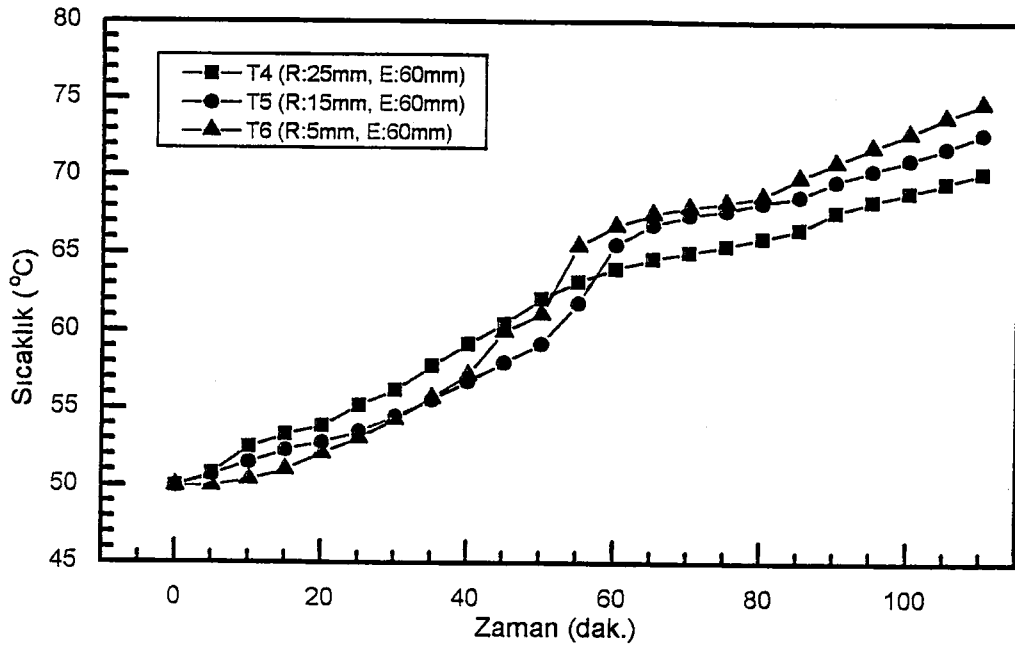
Şekil 4.6. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



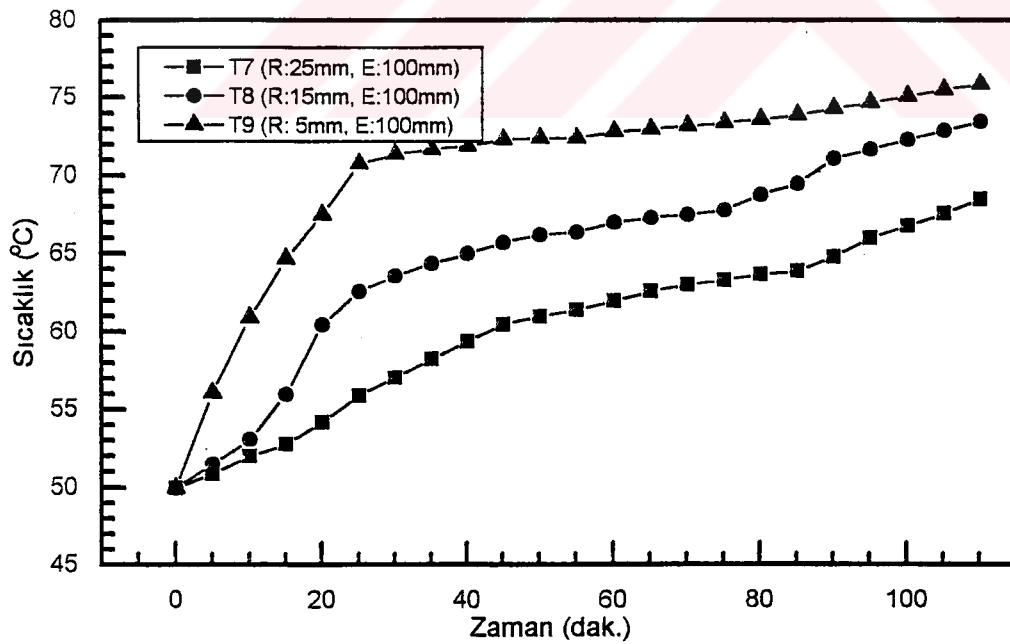
Şekil 4.7. Stearic asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenal mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



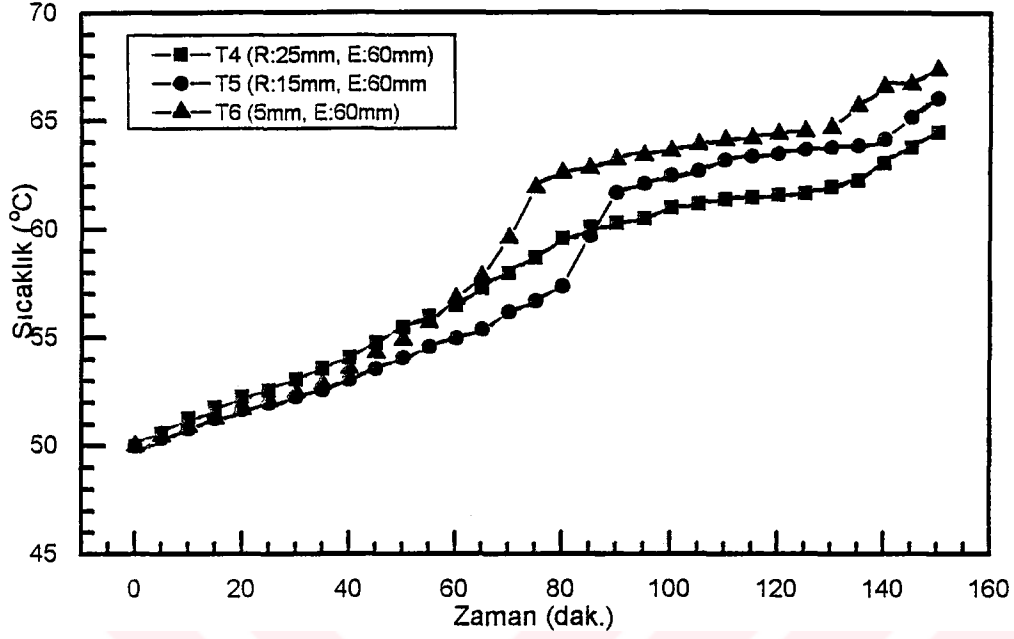
Şekil 4.8. Stearic asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenal mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



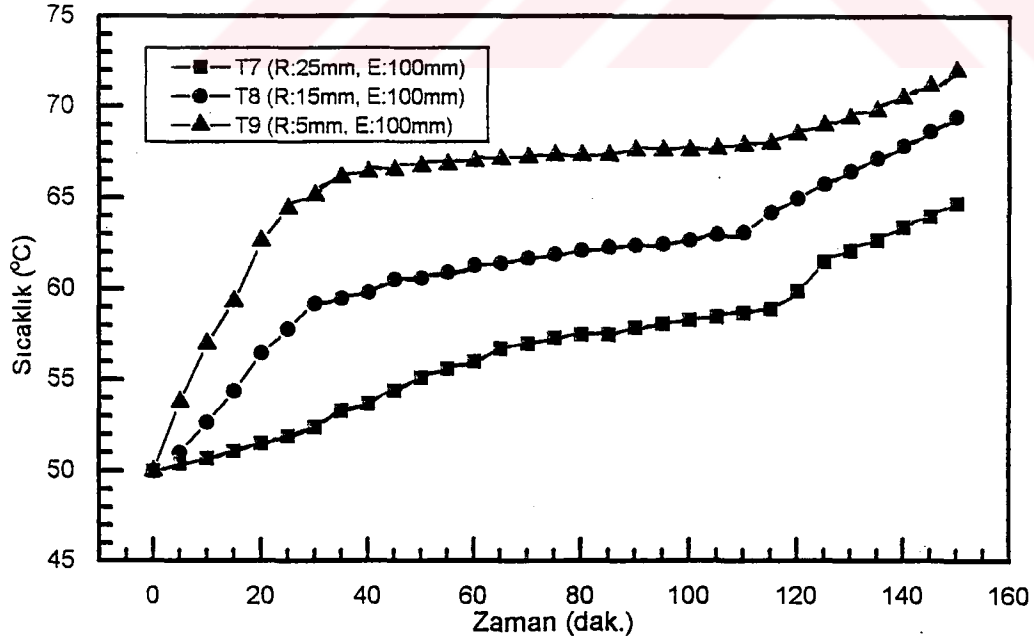
Şekil 4.9. Stearic asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 81 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



Şekil 4.10. Stearic asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 81 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)

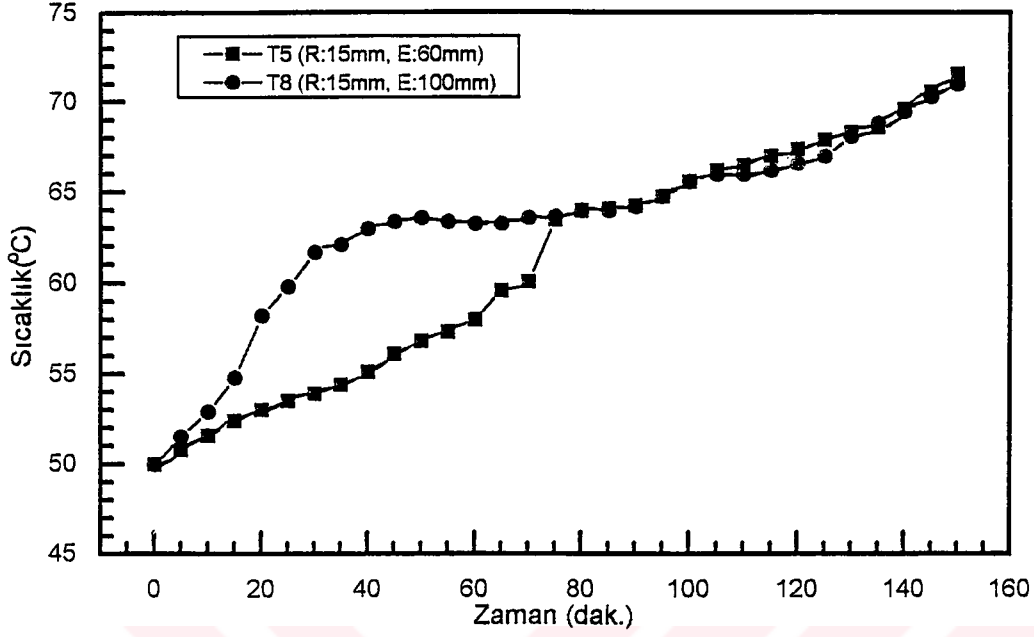


Şekil 4.11. Stearik sit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, suyun giriş sıcaklığı:74 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.)

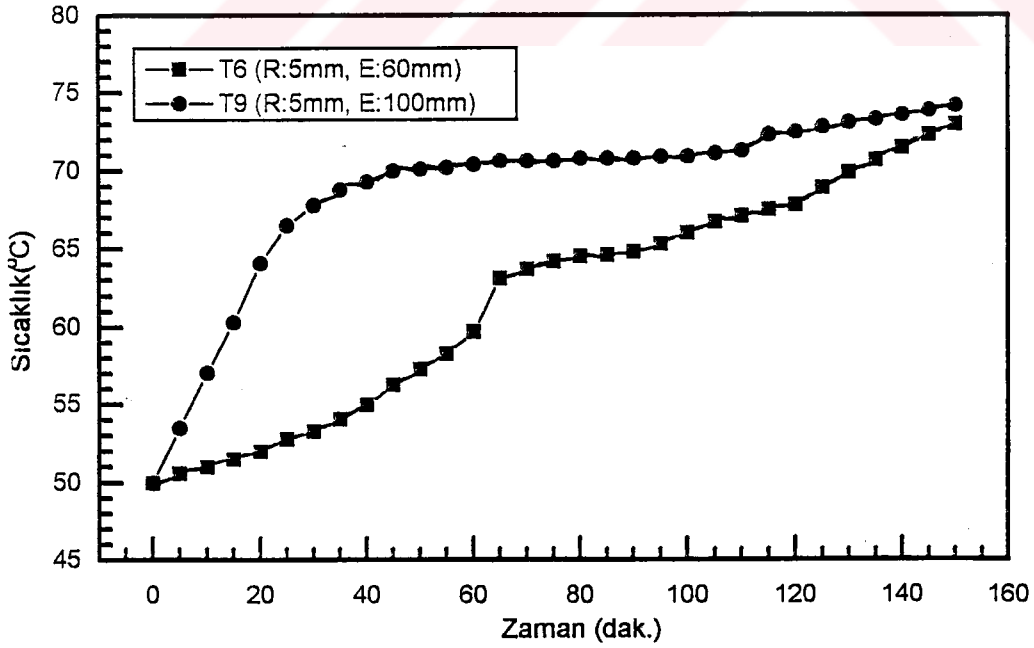


Şekil 4.12. Stearik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:84 °C ve suyun akış debisi:3kg/dak.)

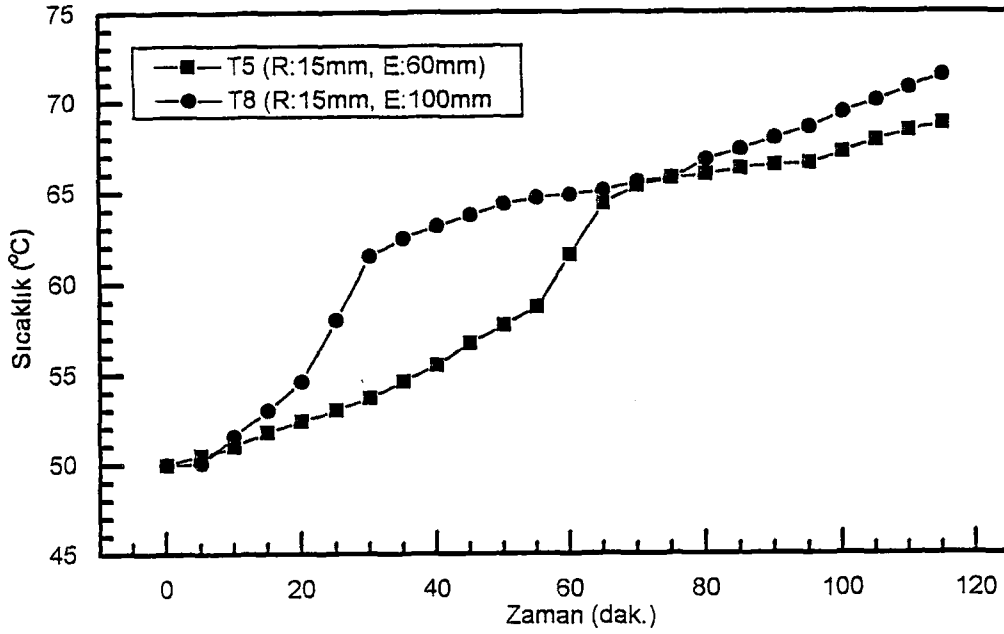




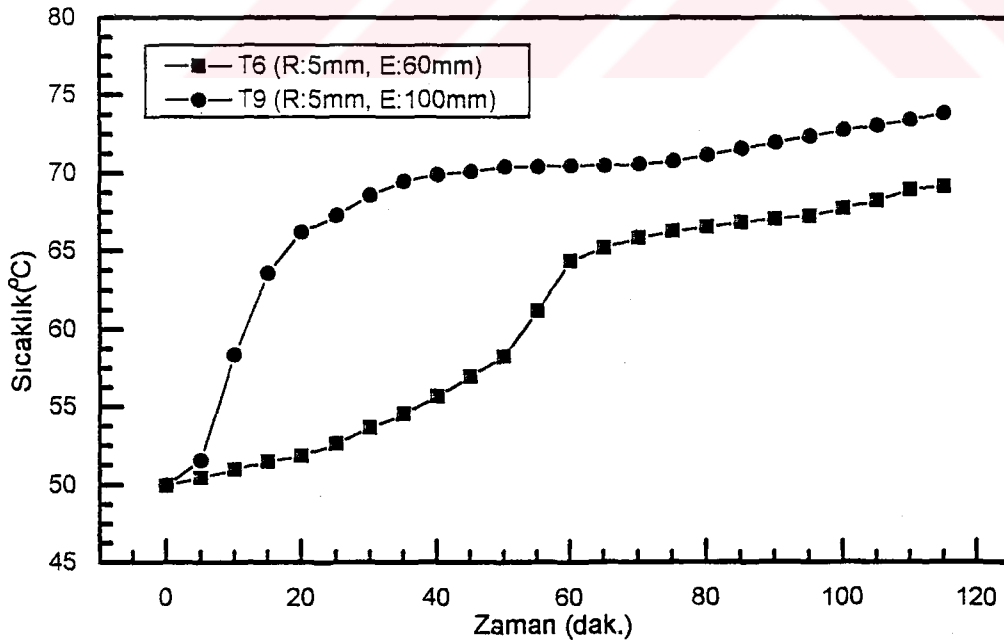
Şekil 4.13. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)



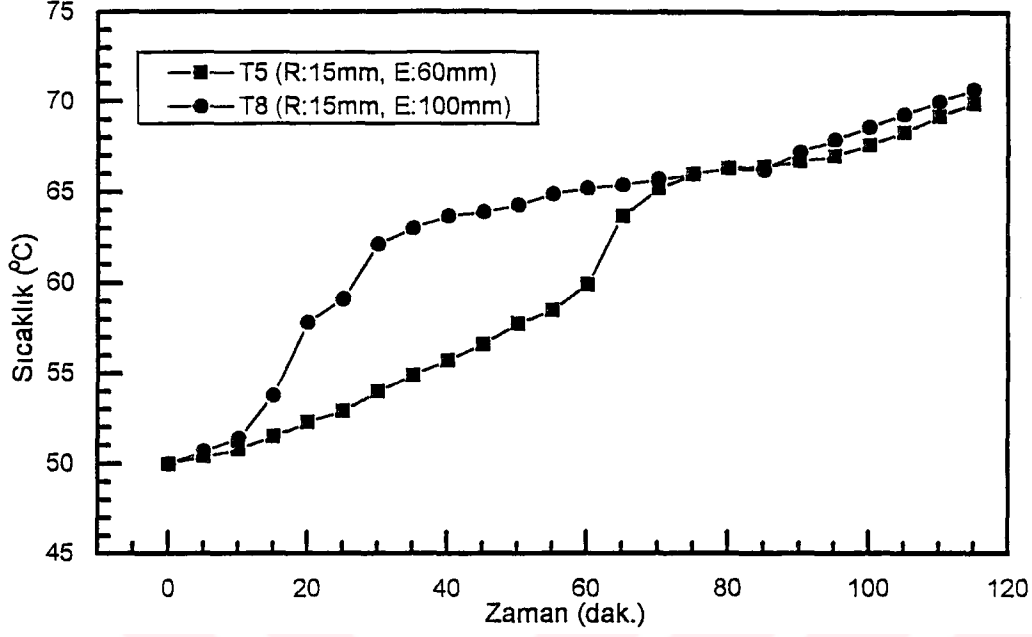
Şekil 4.14. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)



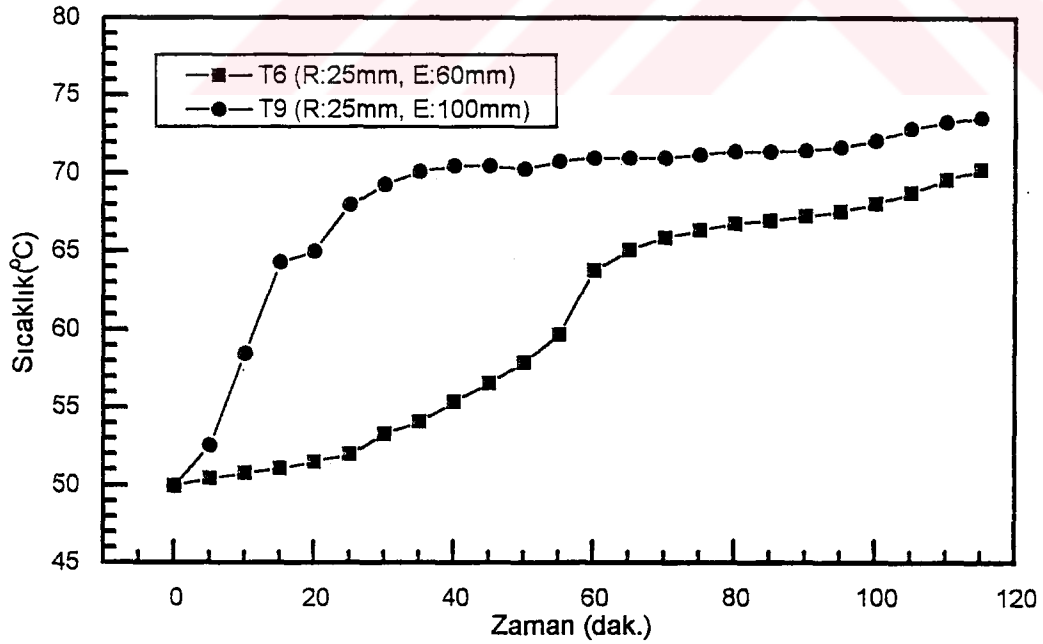
Şekil 4.15. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



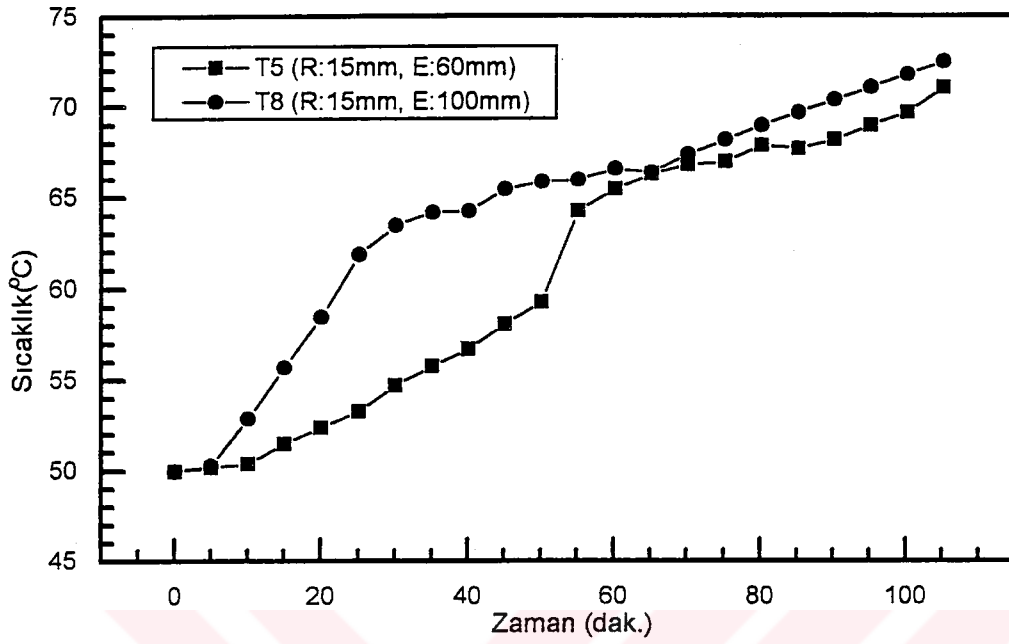
Şekil 4.16. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



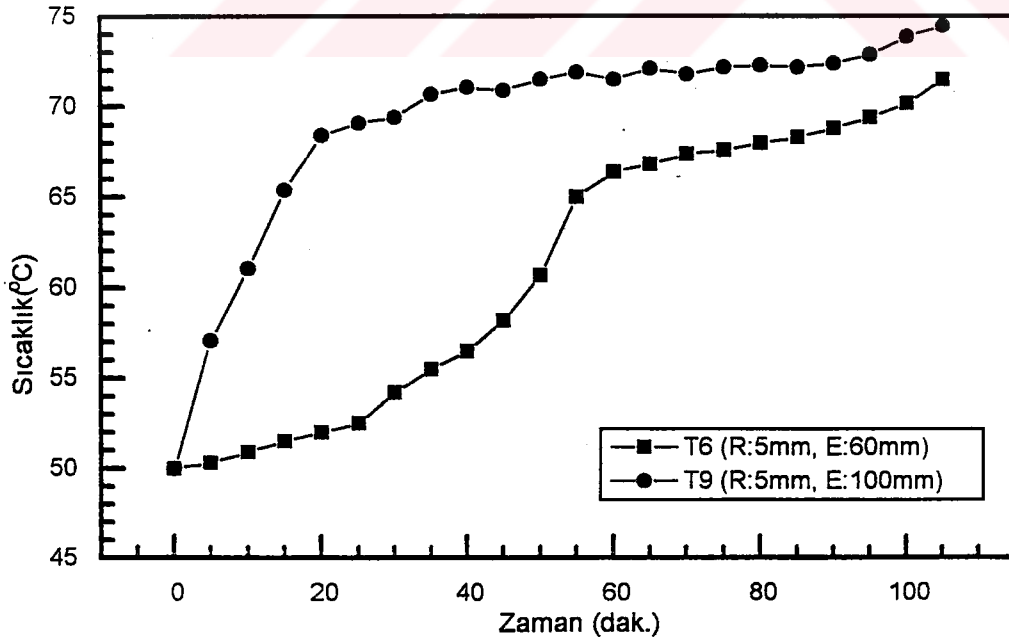
Şekil 4.17. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



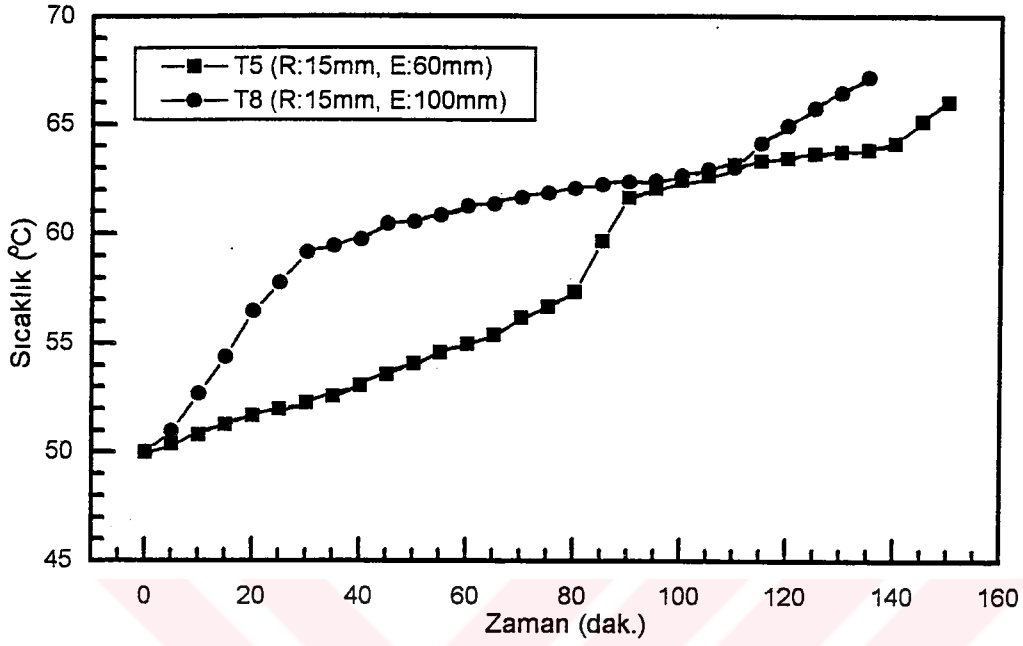
Şekil 4.18. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



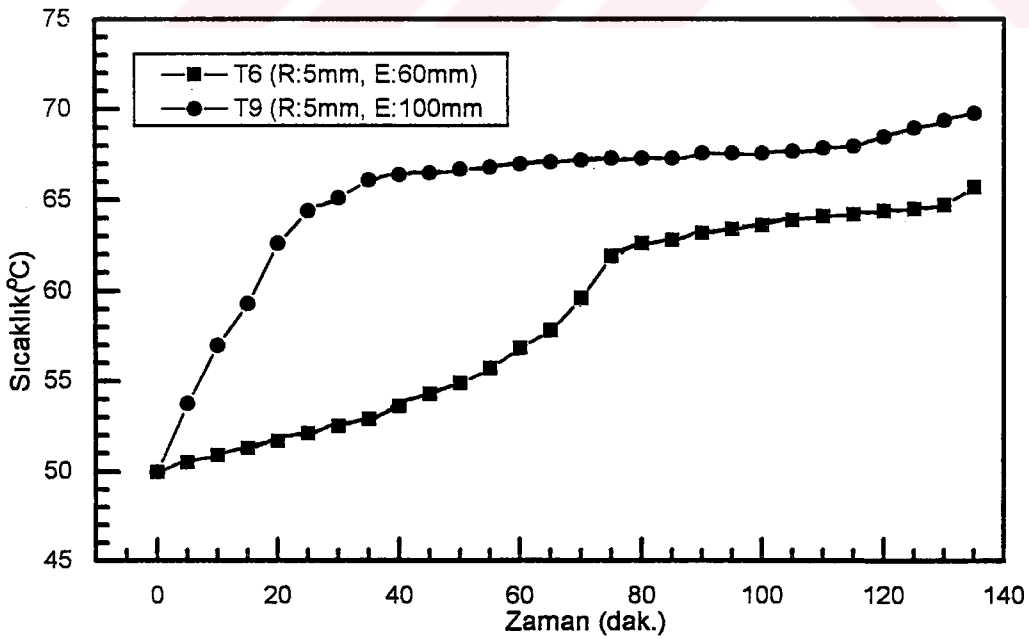
Şekil 4.19. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



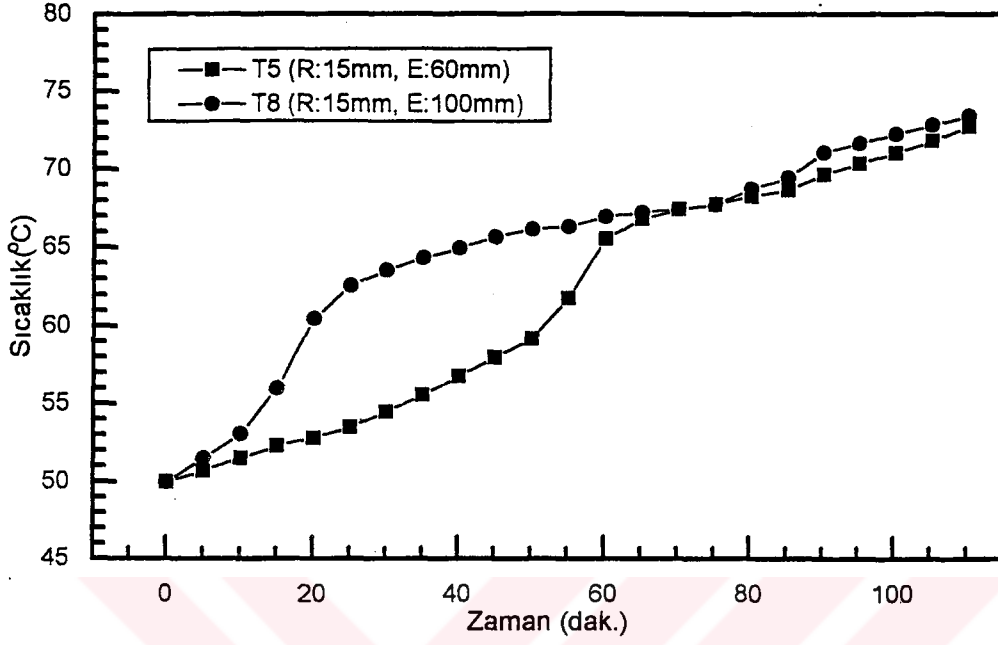
Şekil 4.20. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



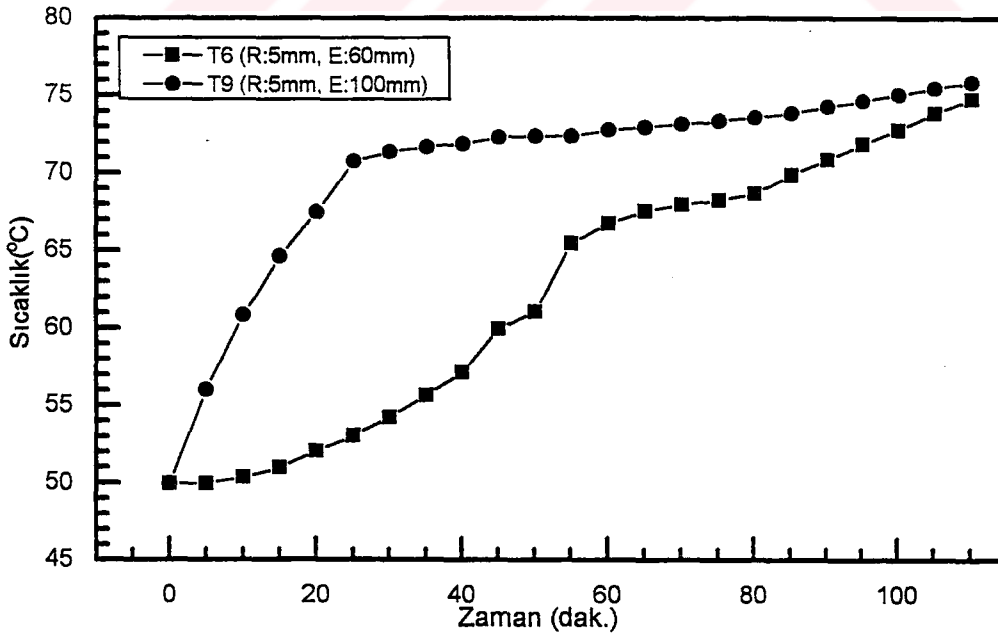
Şekil 4.21. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



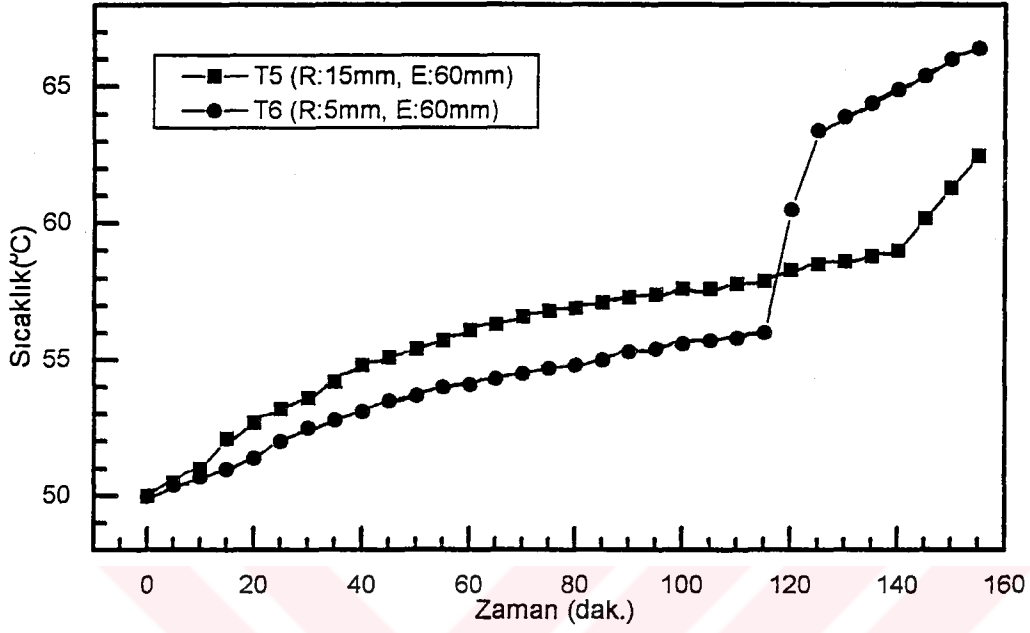
Şekil 4.22. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



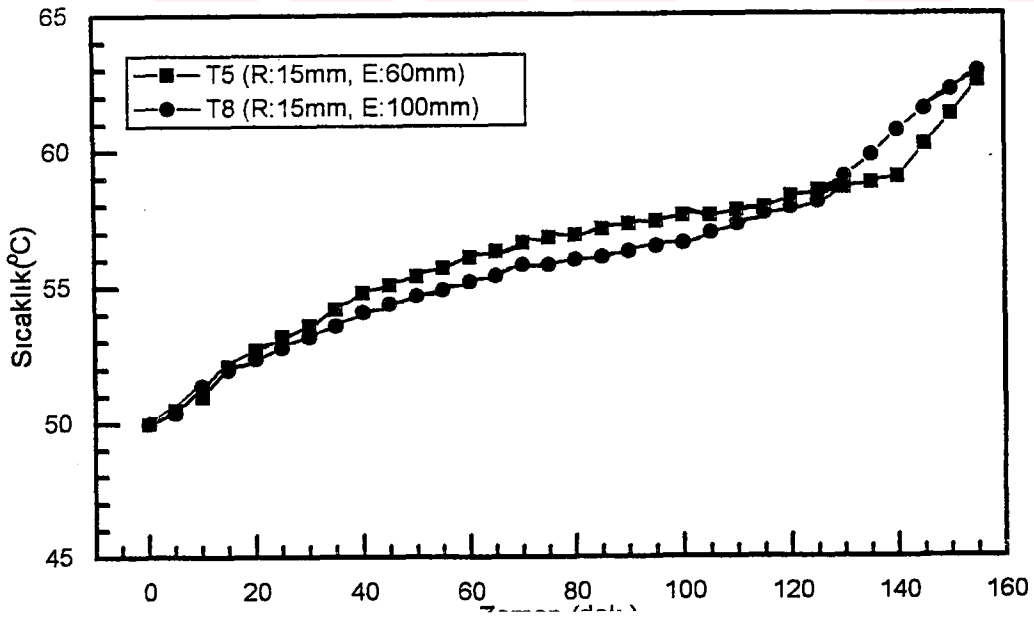
Şekil 4.23. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 81 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)

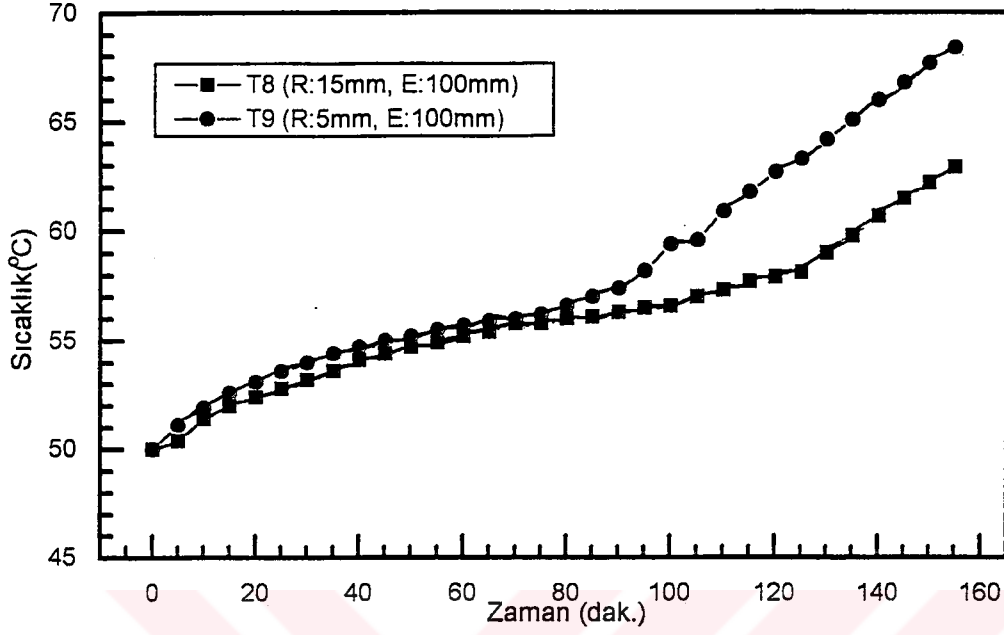


Şekil 4.24. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 81 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)

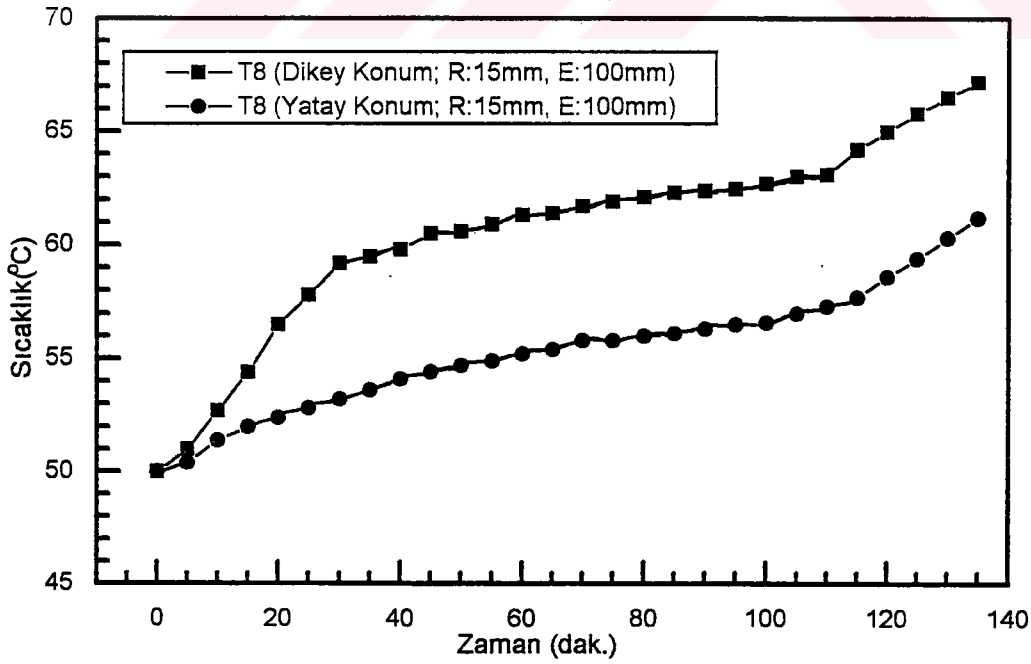


Şekil 4.25. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı radyal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74 °C ve suyun akış debisi: 3kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda)



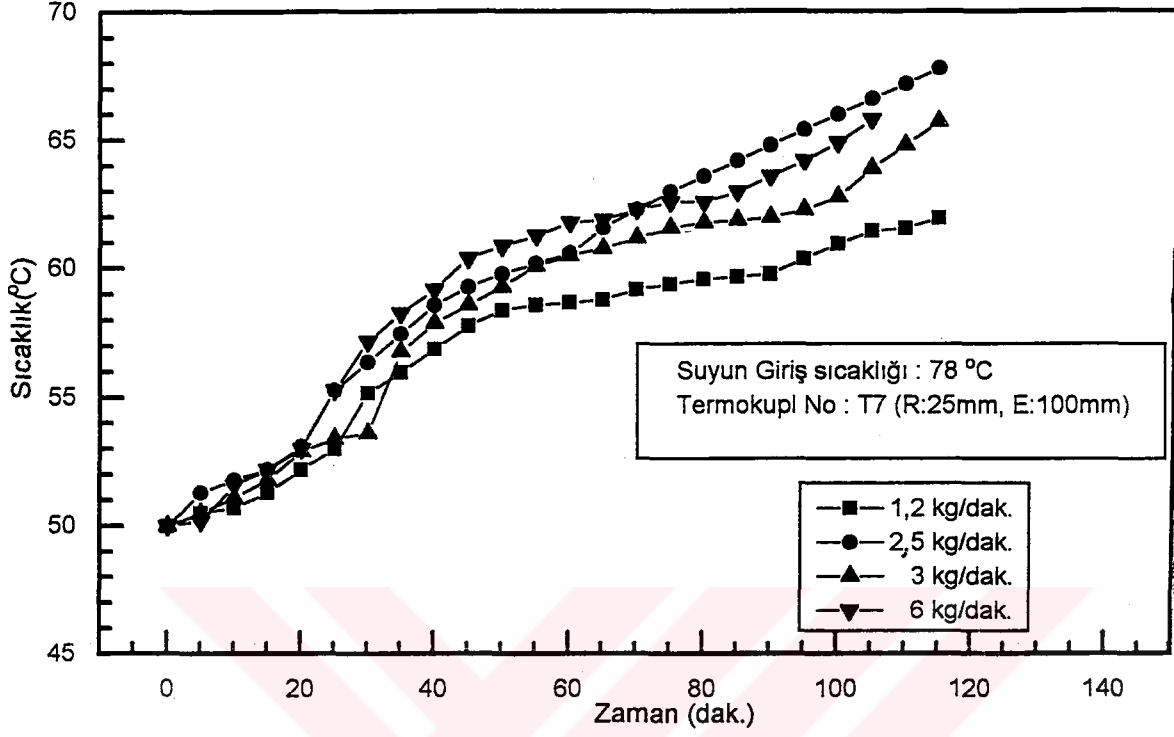


Şekil 4.27. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı radyal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74°C ve suyun akış debisi: 3kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda)

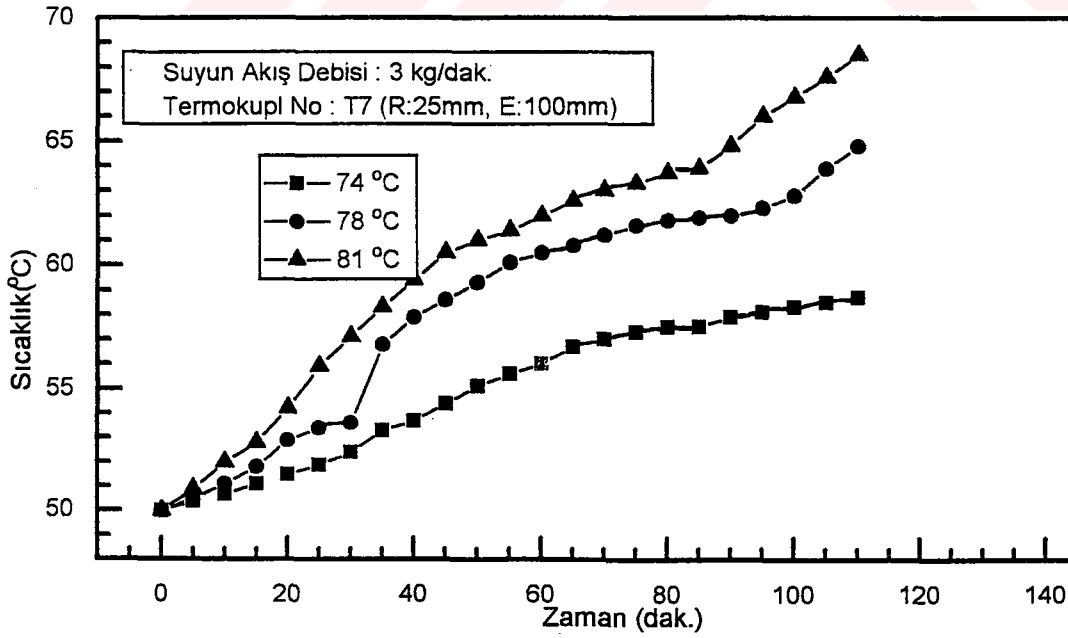


Şekil 4.28. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı ısı değiştirici konumundaki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı: 74 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)

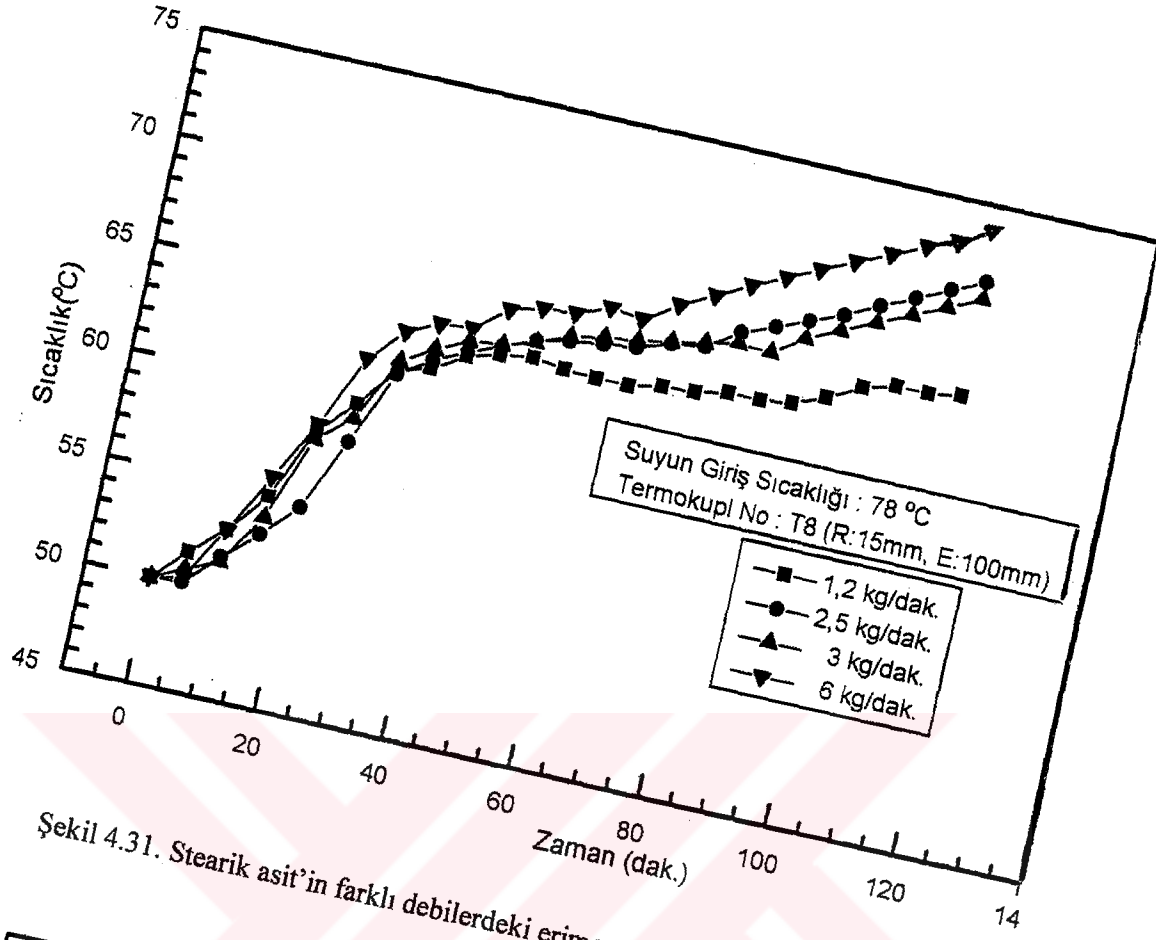




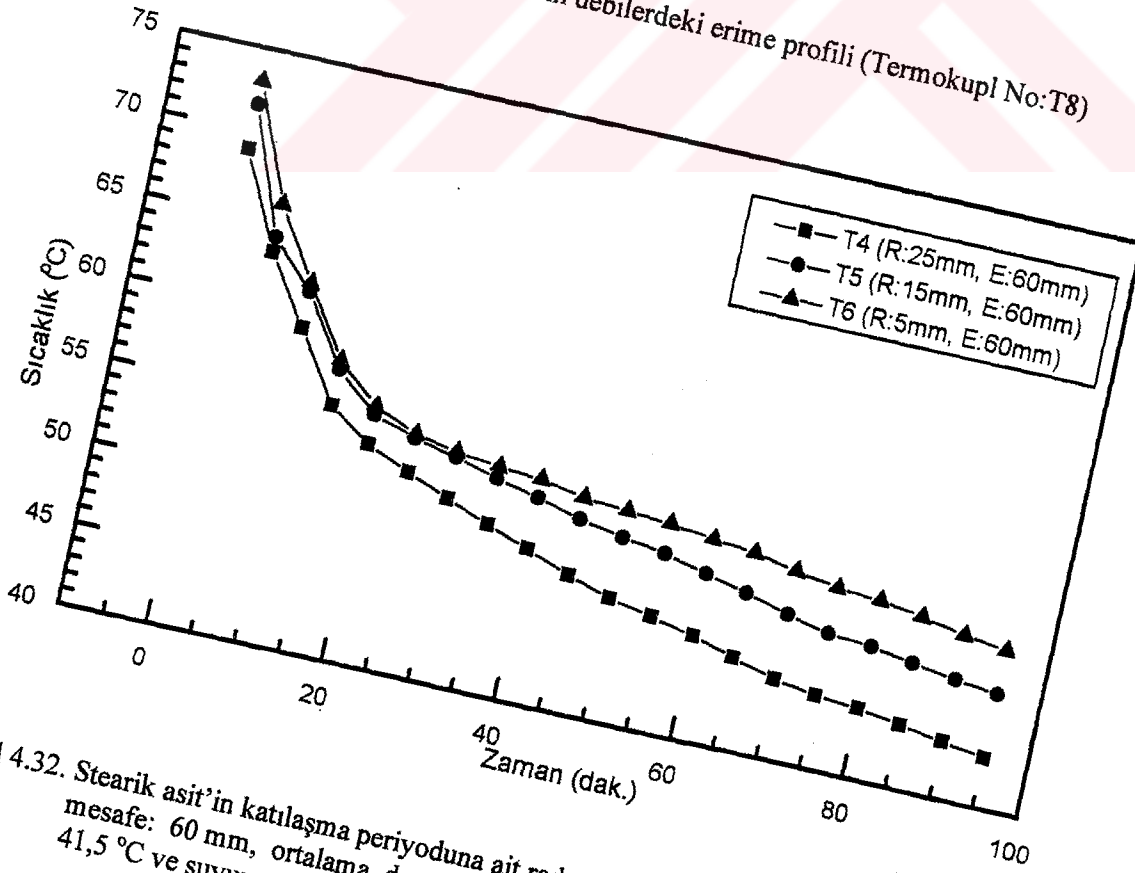
Şekil 4.29. Stearik asit'in farklı debilerdeki erime profili



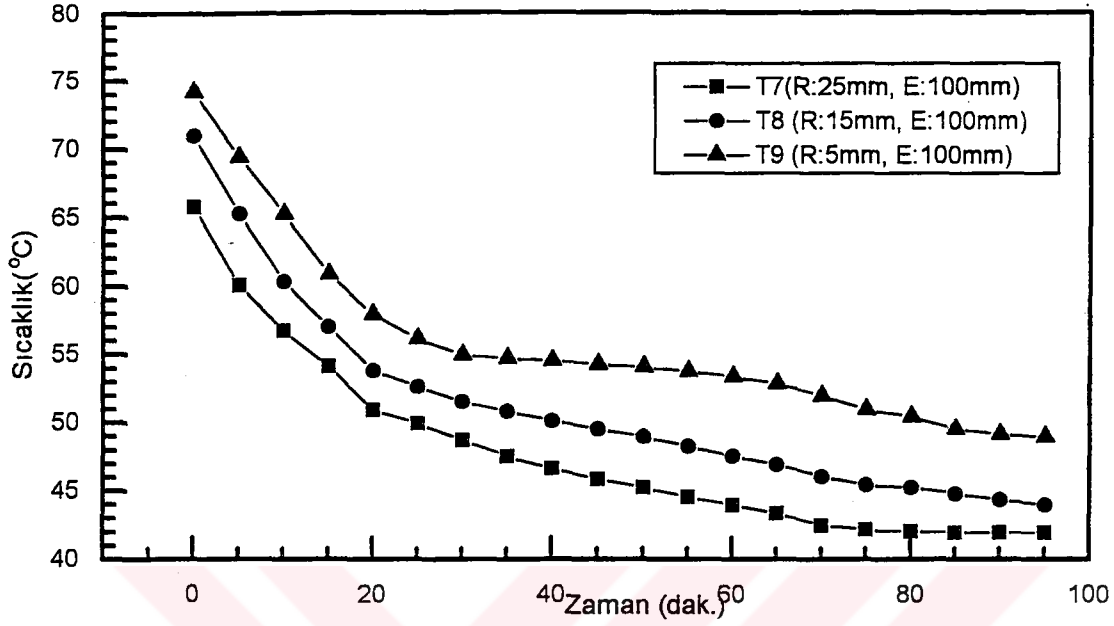
Şekil 4.30. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki erime profili



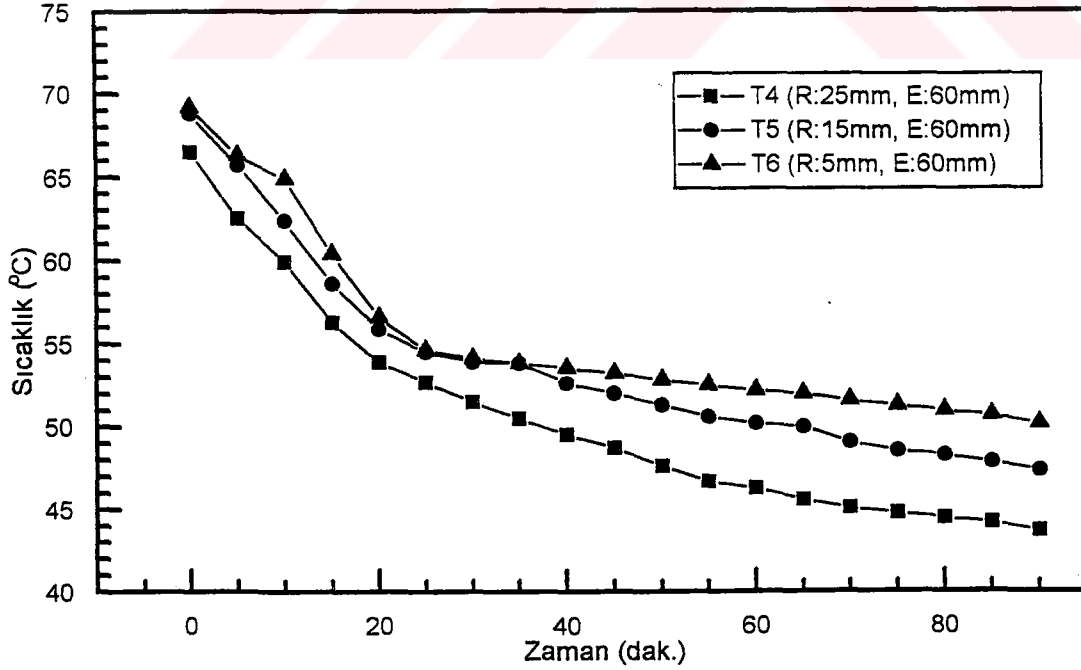
Şekil 4.31. Stearik asit'in farklı debilerdeki erime profili (Termokupl No:T8)



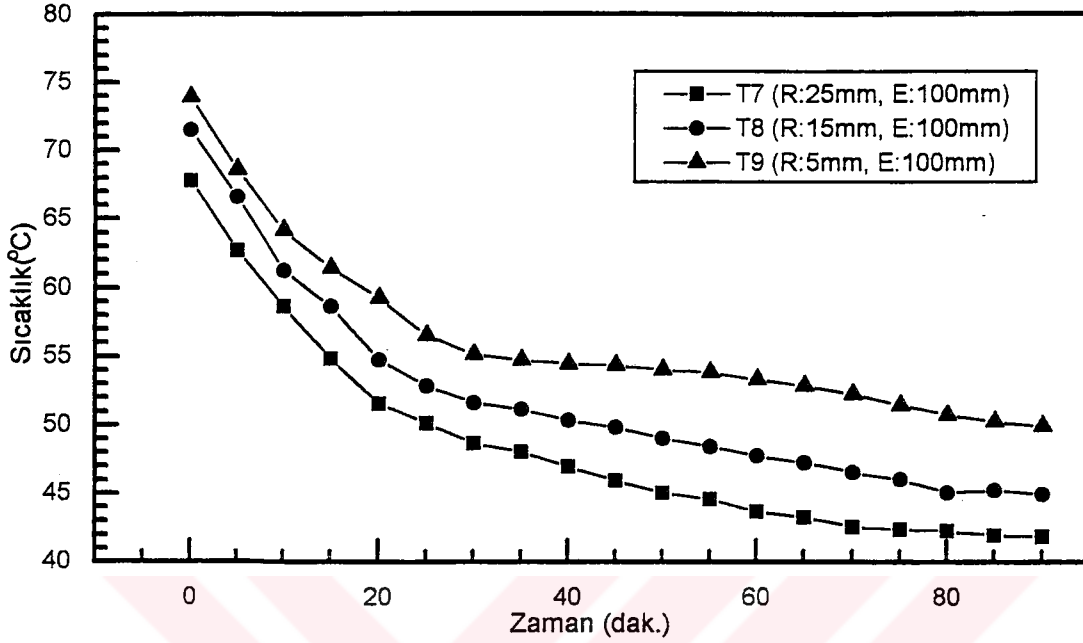
Şekil 4.32. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 71,2 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)



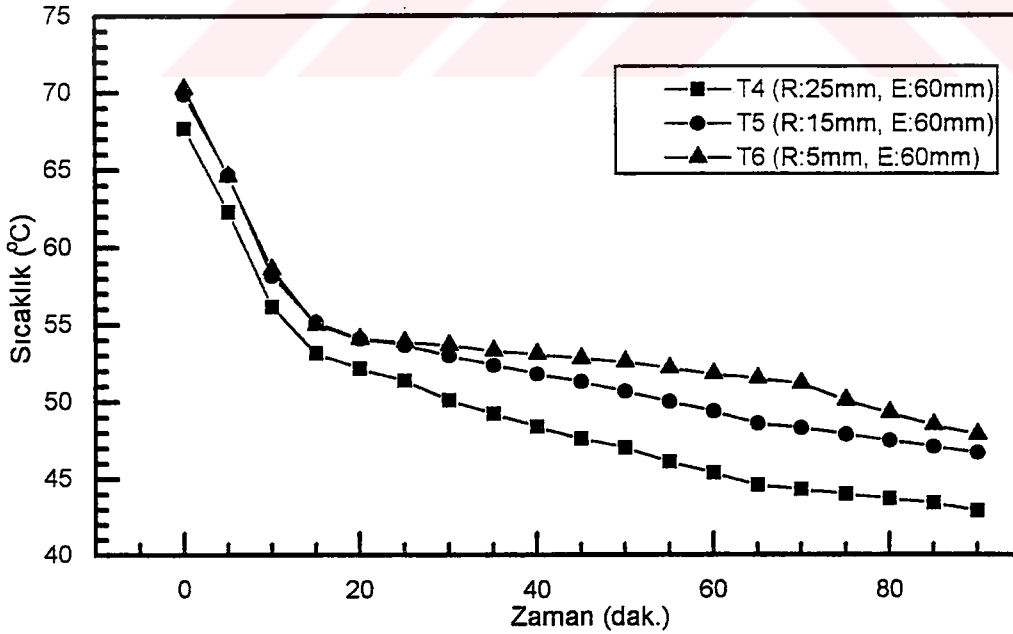
Şekil 4.33. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 70,2 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)



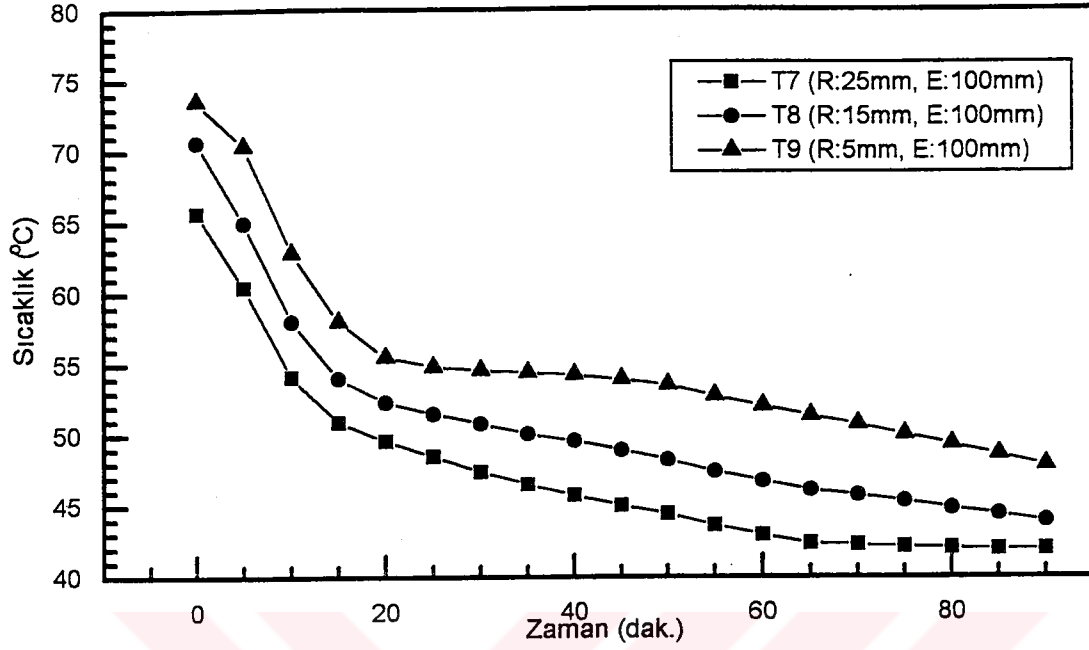
Şekil 4.34. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 68 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



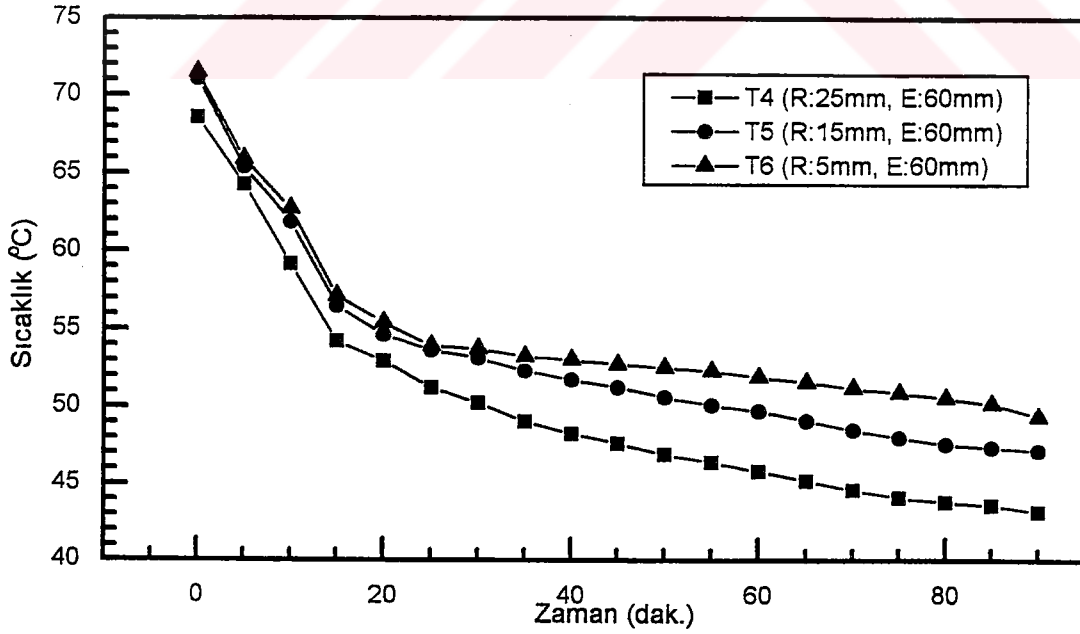
Şekil 4.35. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 71 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



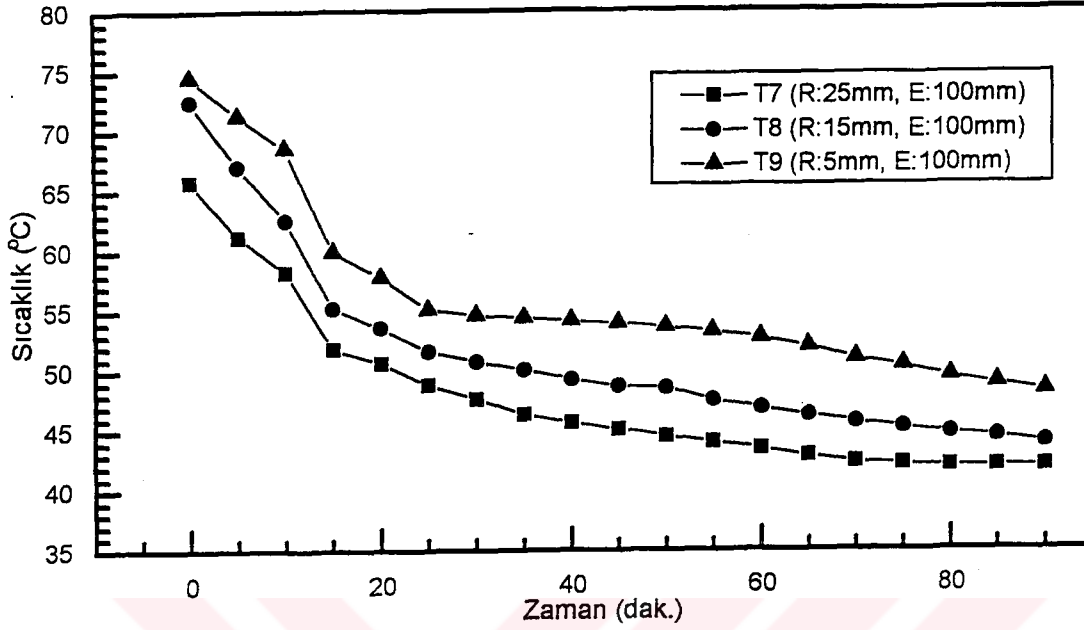
Şekil 4.36. Stearik asit'in katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 69,3 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



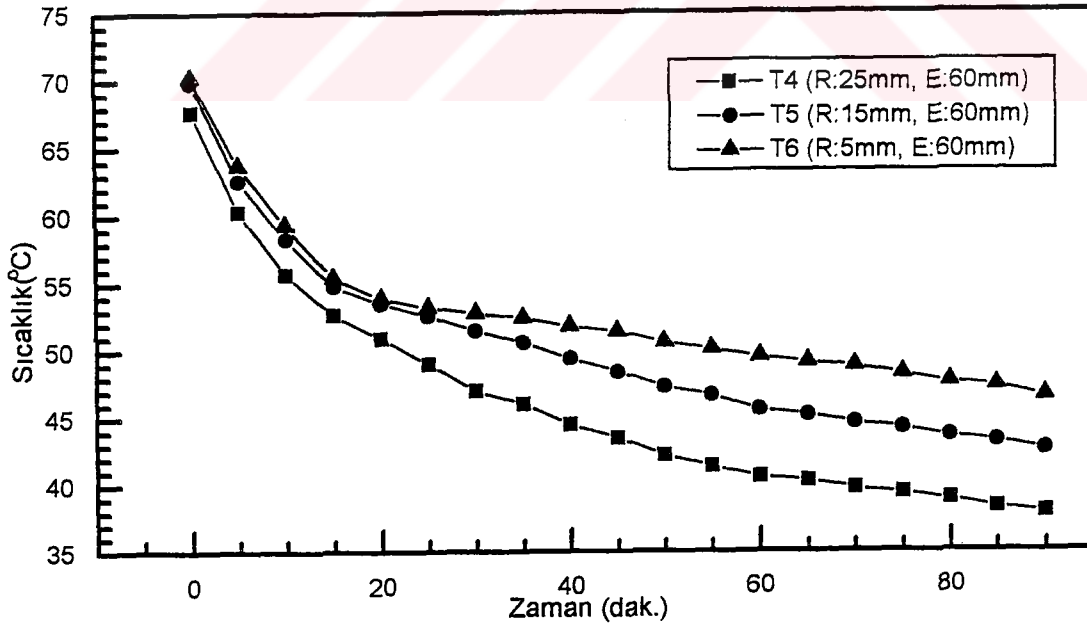
Şekil 4.37. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 70 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



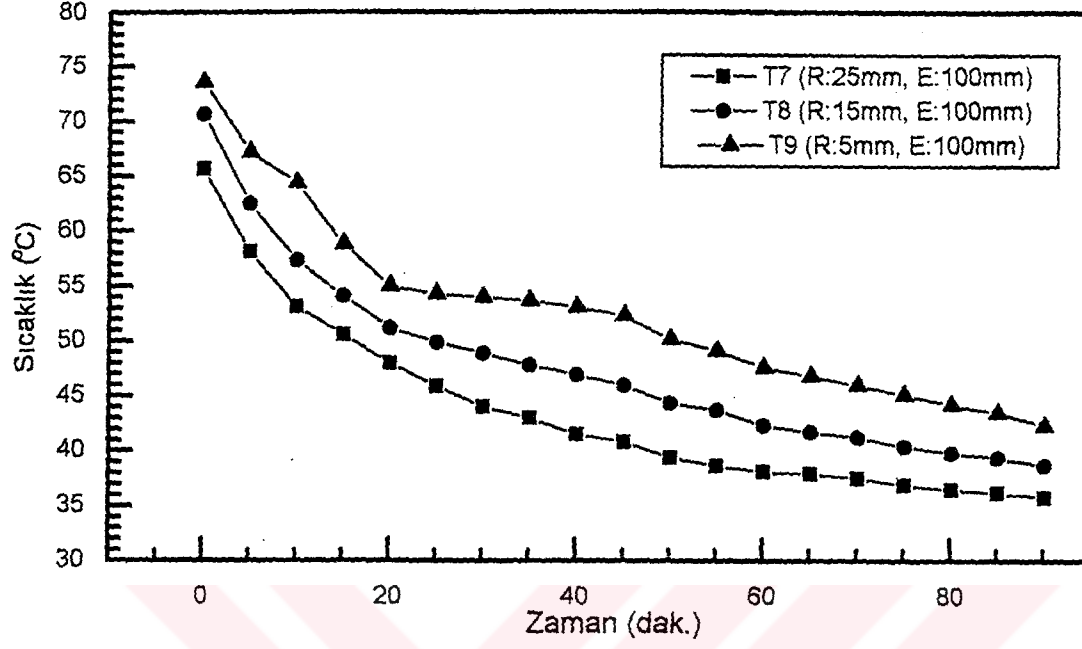
Şekil 4.38. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 70,4 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



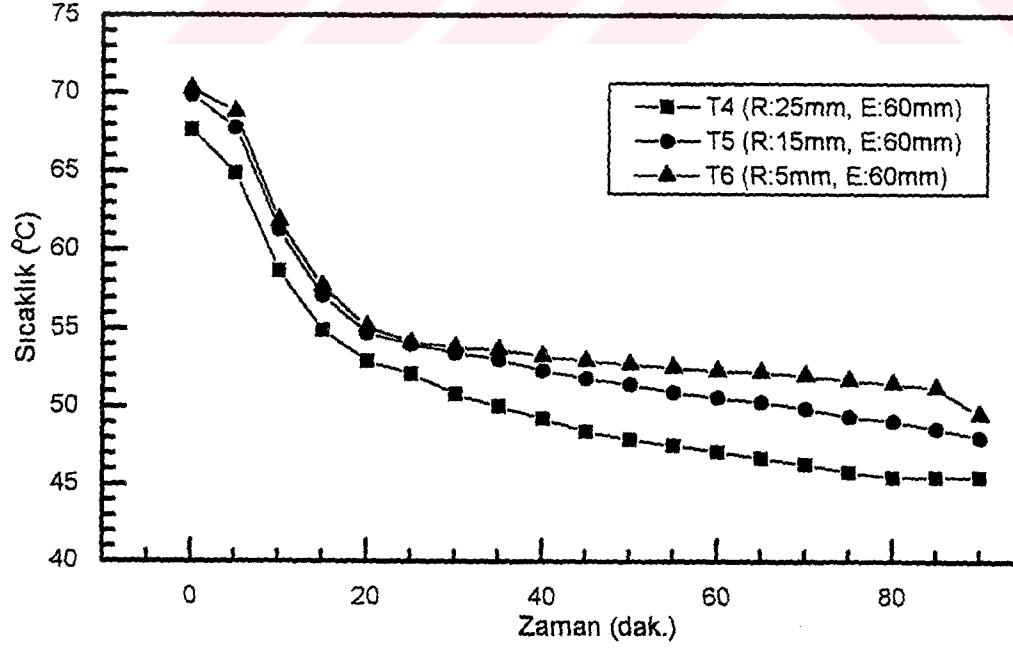
Şekil 4.39. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı: 70,9 °C, suyun giriş sıcaklığı:41,5 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)



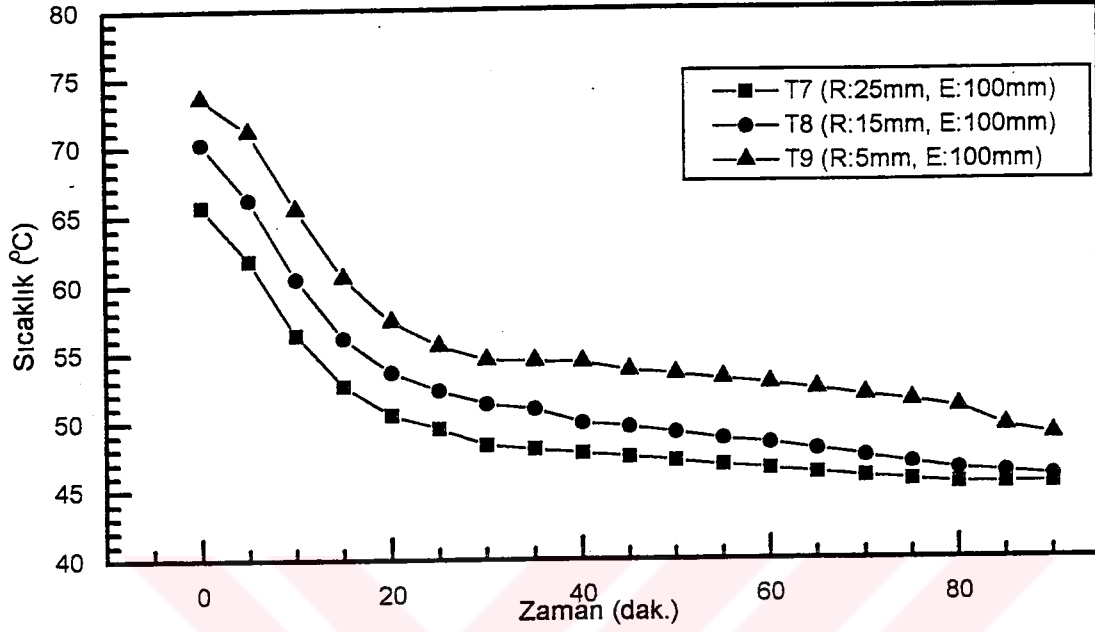
Şekil 4.40. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:70 °C, suyun giriş sıcaklığı: 34 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



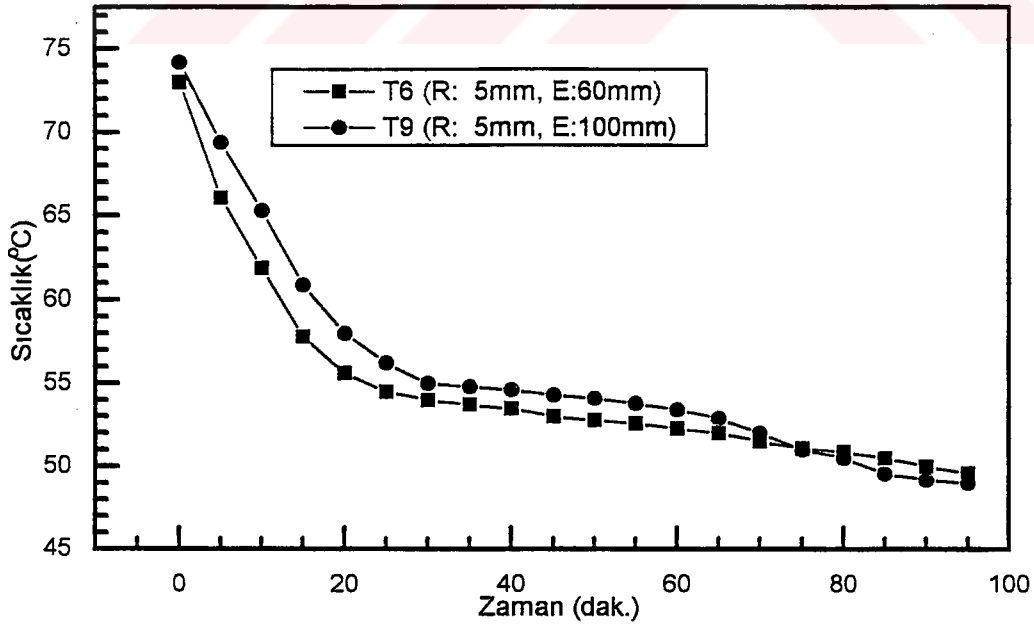
Şekil 4.41. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı:70 °C, suyun giriş sıcaklığı:34 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



Şekil 4.42. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, ortalama depolama sıcaklığı:69,3°C, suyun giriş sıcaklığı:45.5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)

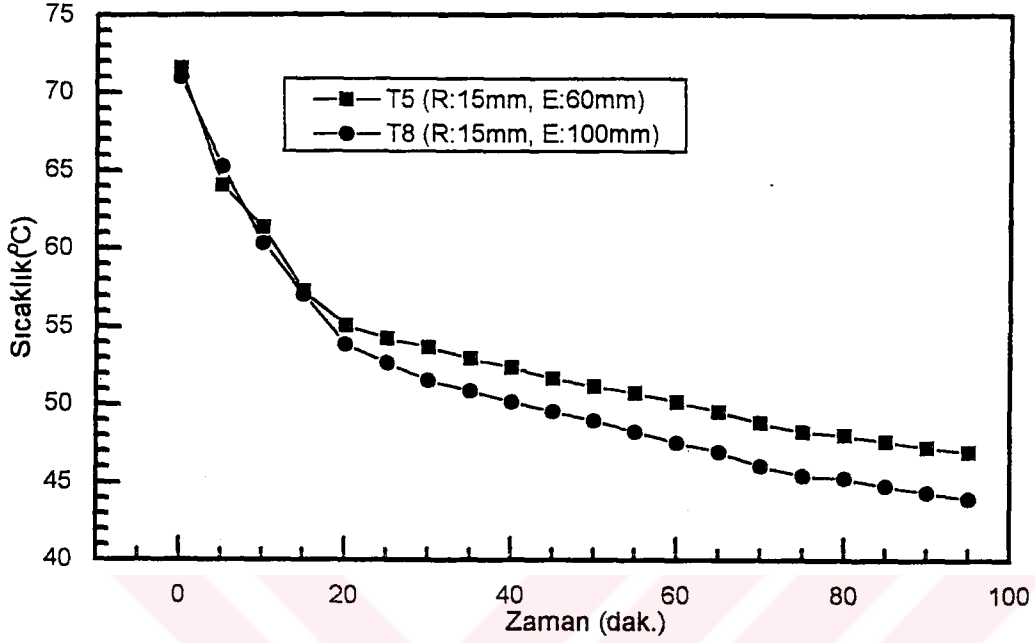


Şekil 4.43. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı:70,3°C, Eksenel mesafe:100 mm, suyun giriş sıcaklığı:45,5°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)

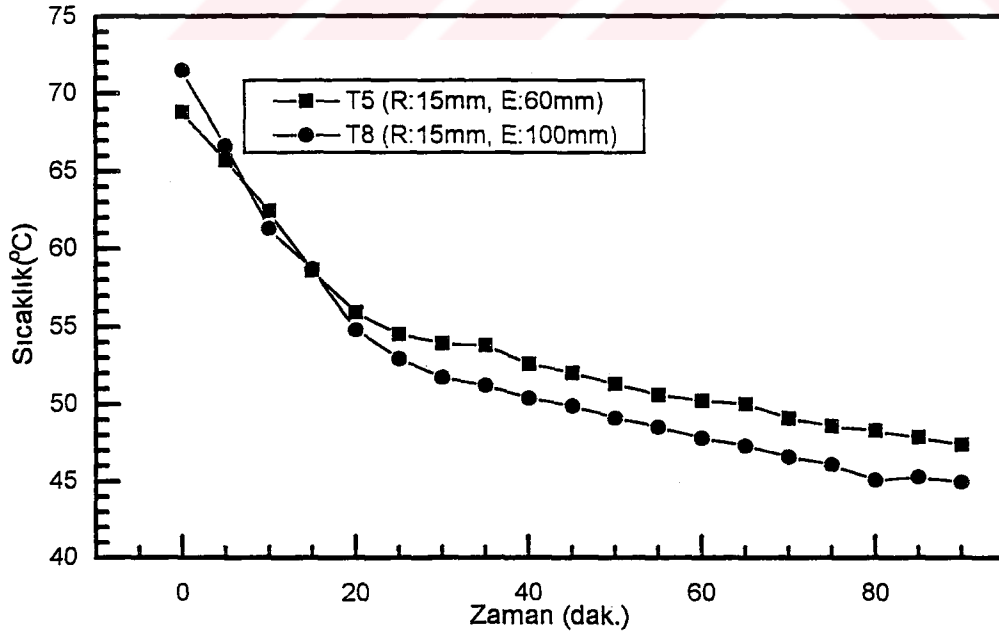


Şekil 4.44. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,3°C, suyun giriş sıcaklığı:41,5°C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)

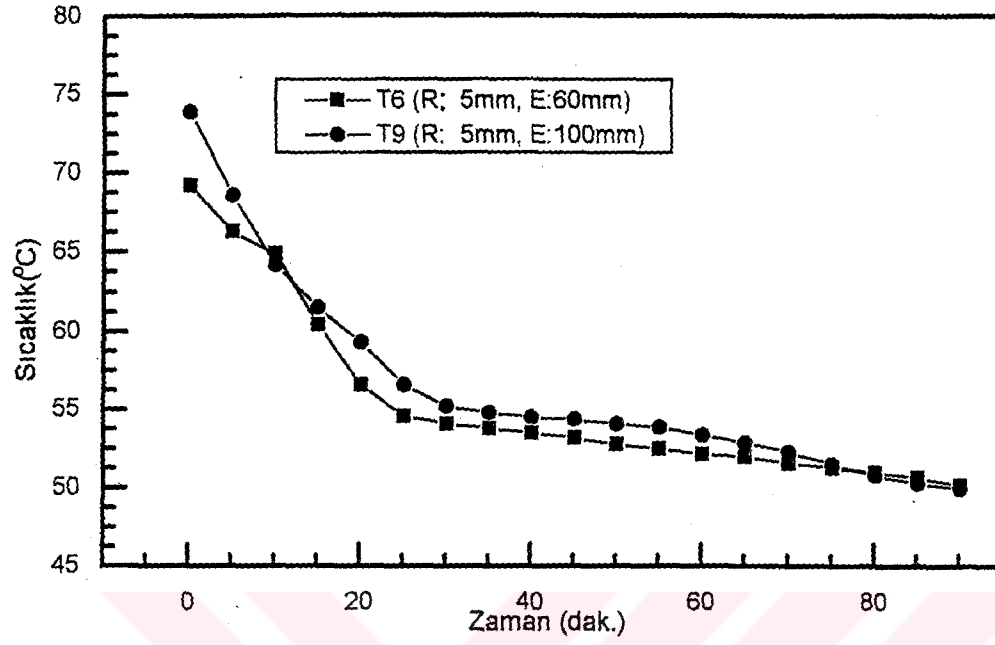




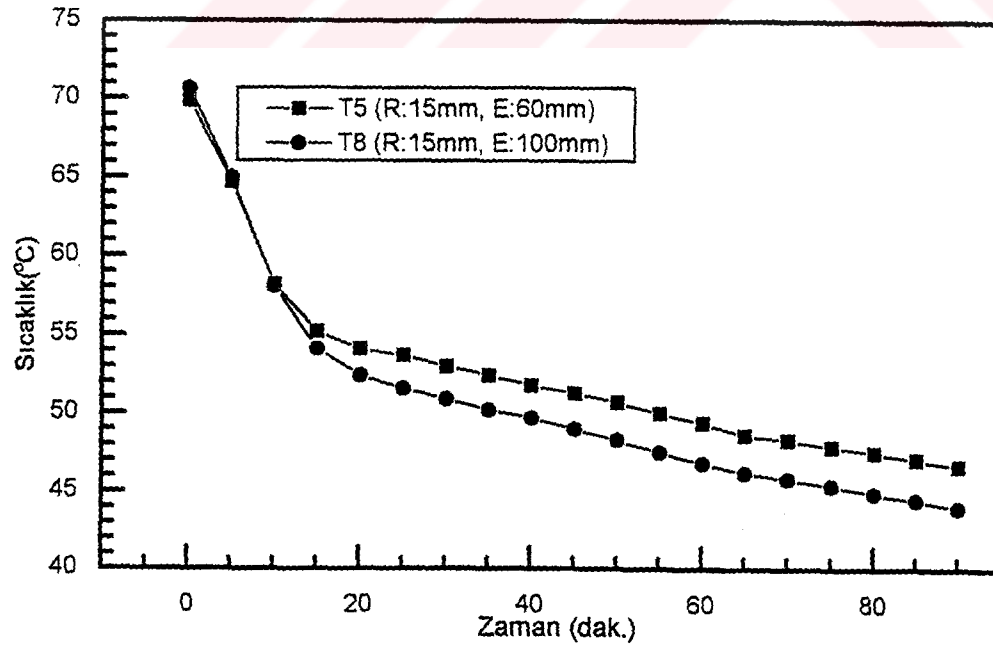
Şekil 4.45. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 71,3°C, suyun giriş sıcaklığı:41,5°C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.)



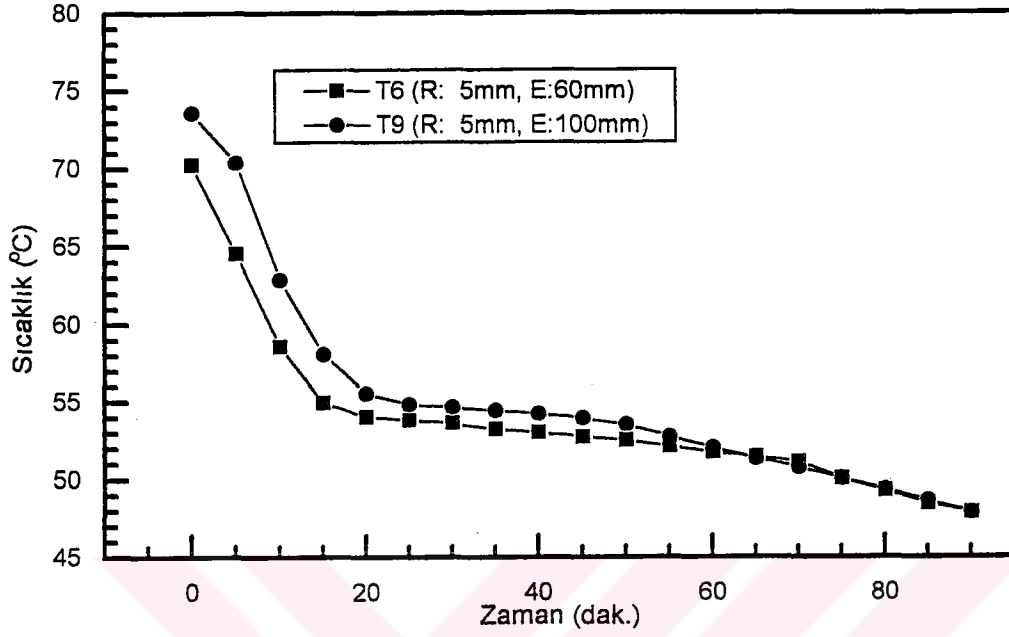
Şekil 4.46. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,1°C, suyun giriş sıcaklığı:41,5°C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.)



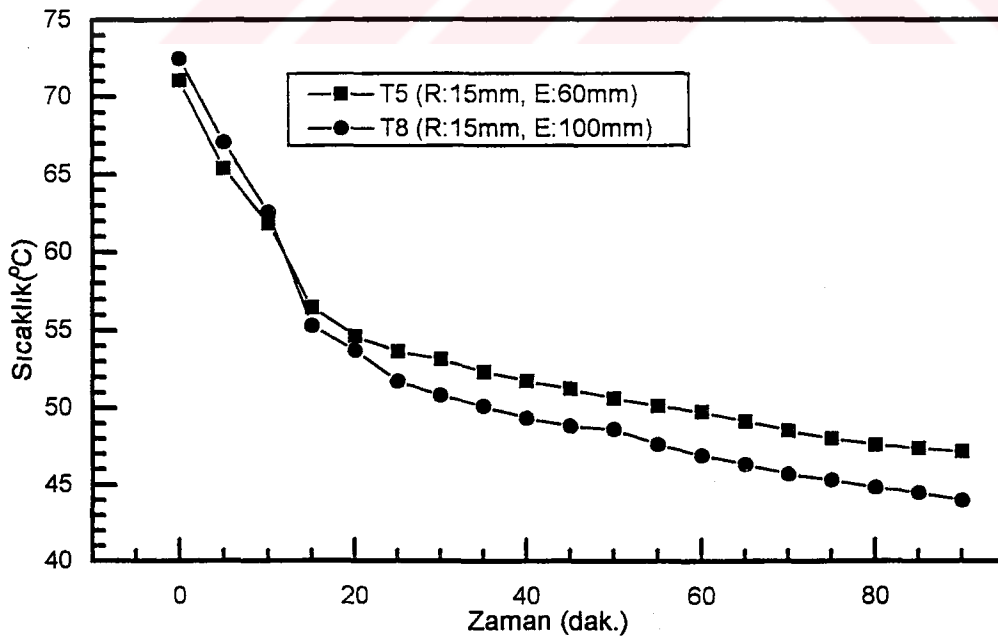
Şekil 4.47. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 71,6 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.)



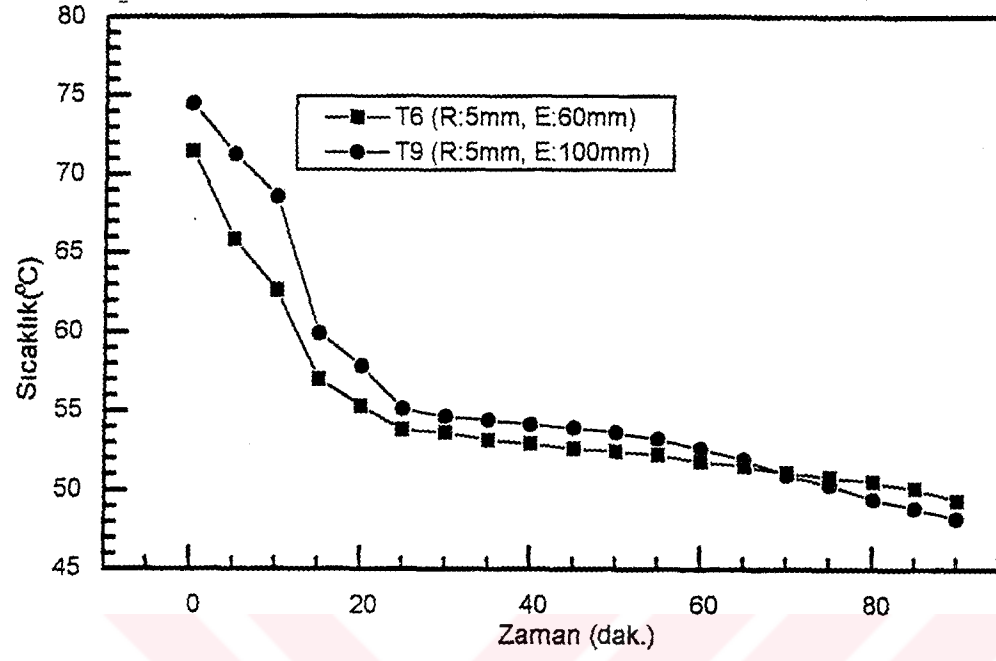
Şekil 4.48. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,3 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.)



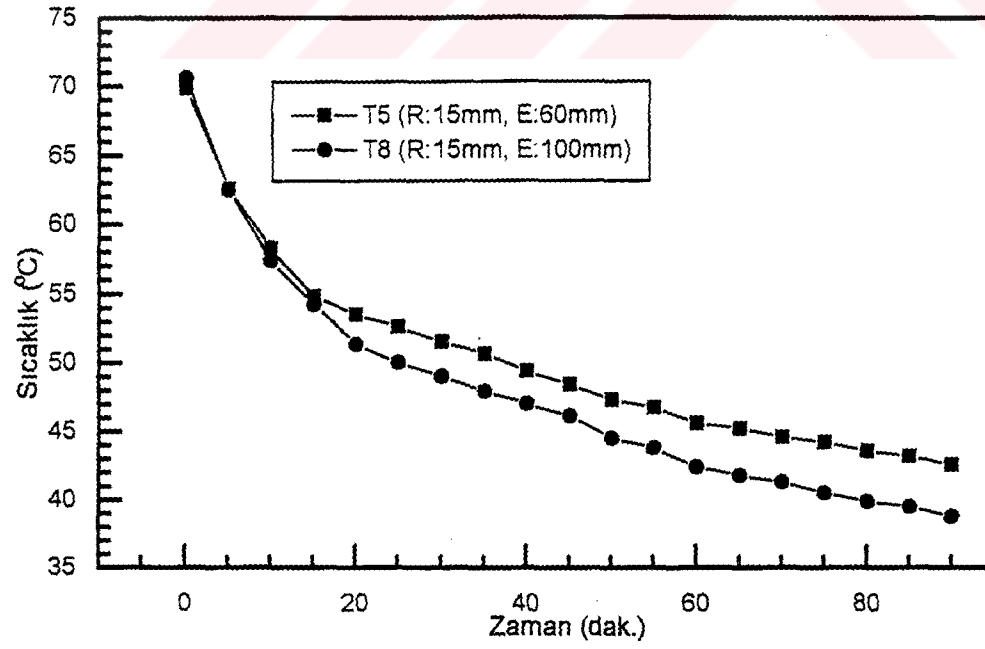
Şekil 4.49. Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 72 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



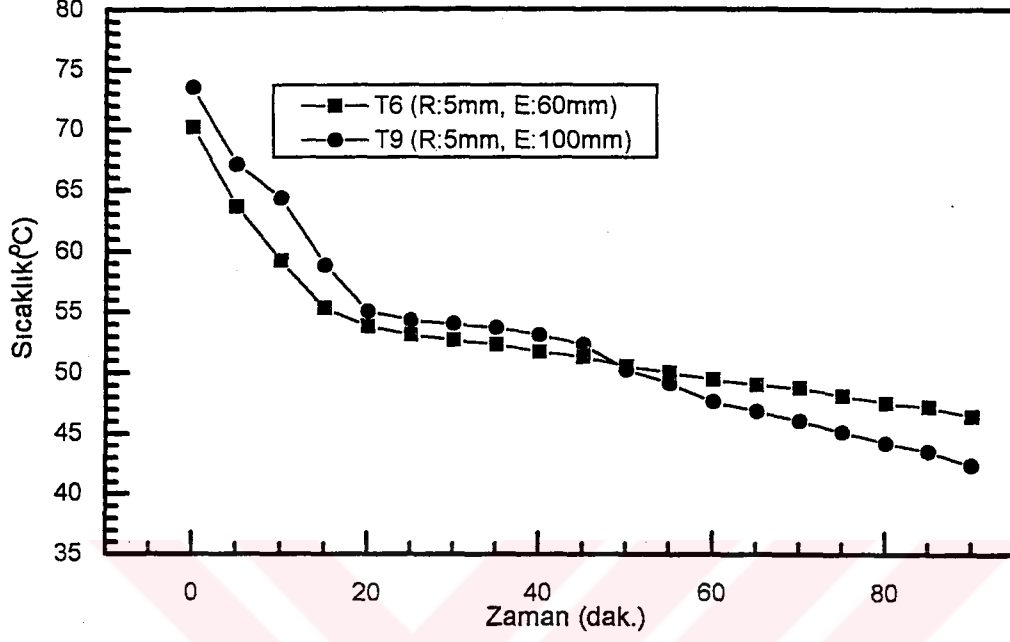
Şekil 4.50 Stearik asit'in katılma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 72,5°C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



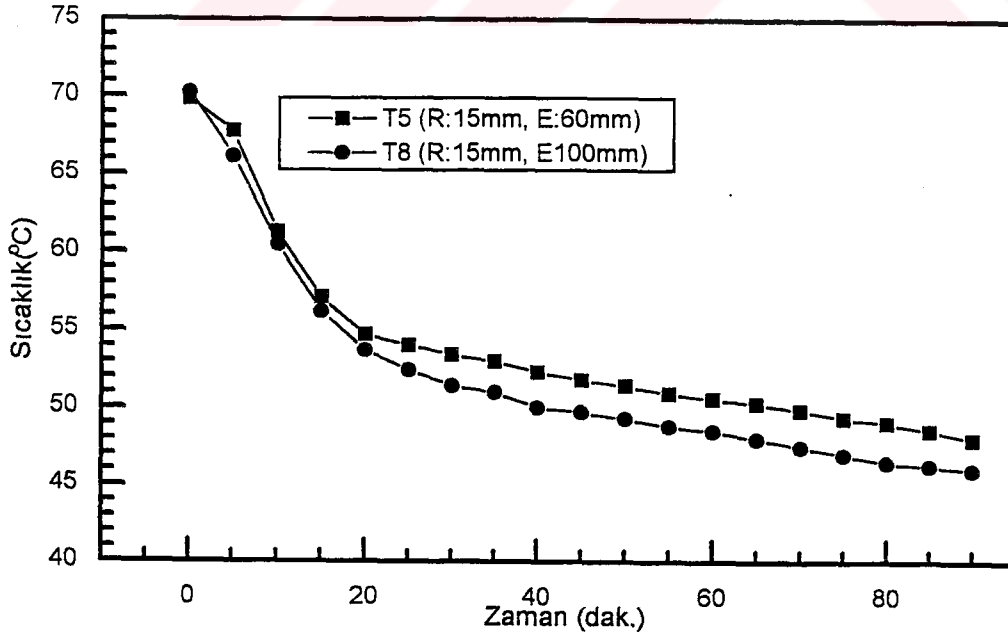
Şekil 4.51. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 73°C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



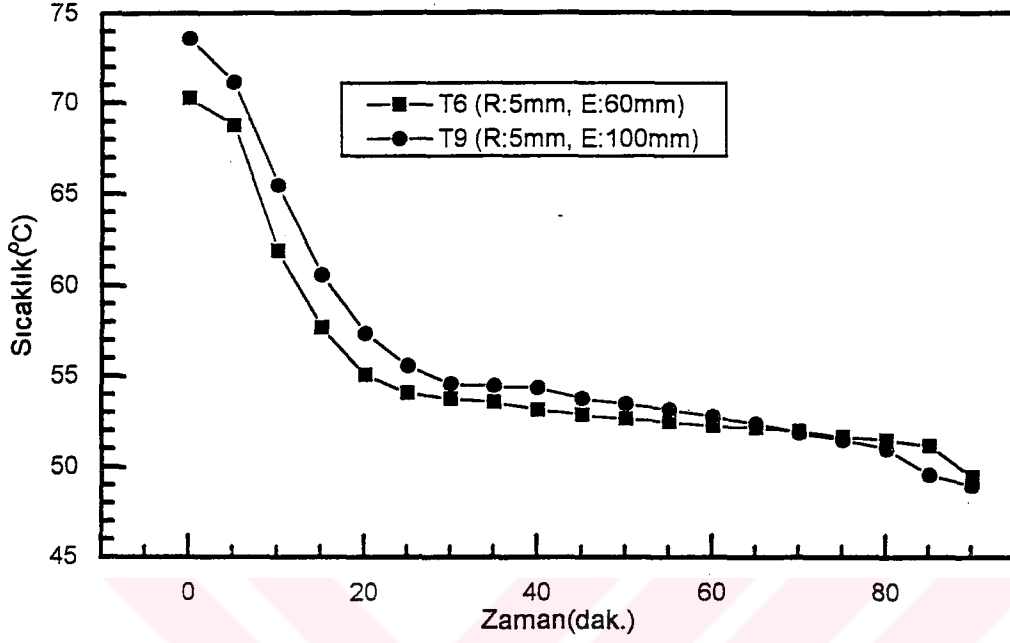
Şekil 4.52. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,3 °C, suyun giriş sıcaklığı: 34 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



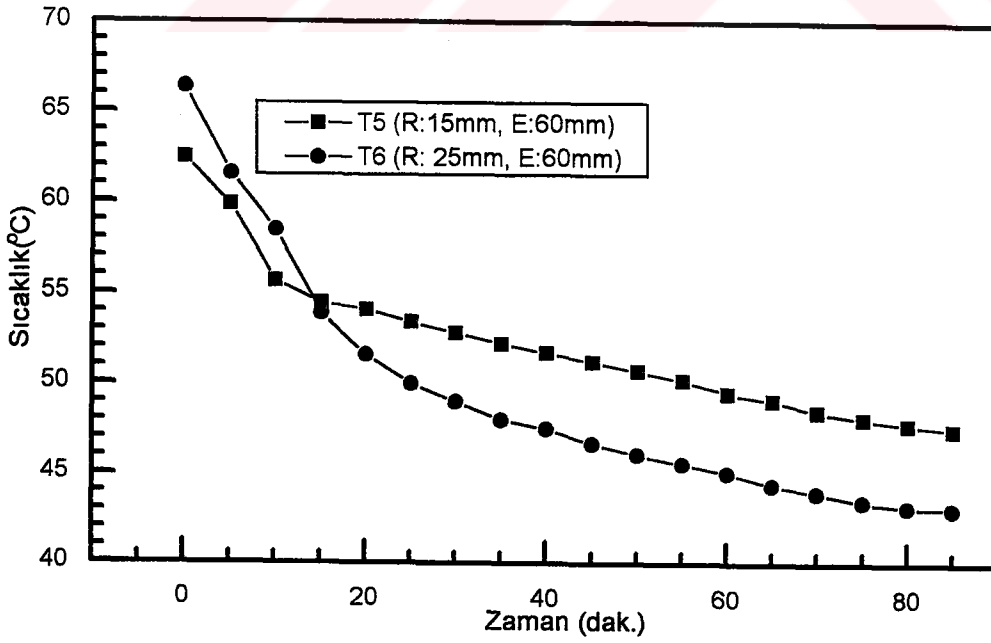
Şekil 4.53. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 72 °C, suyun giriş sıcaklığı: 34 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



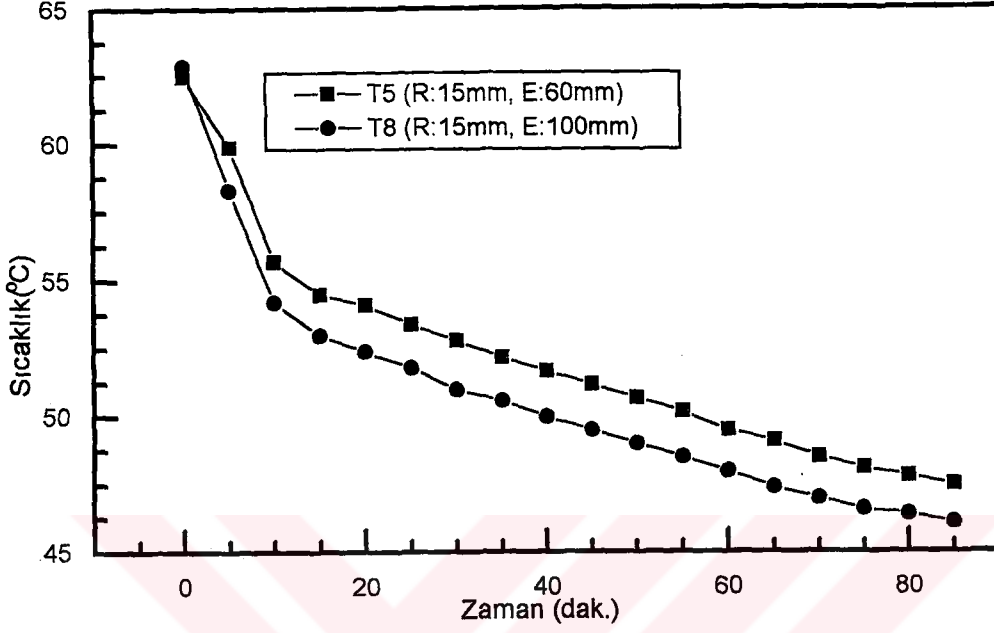
Şekil 4.54. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı aksenal yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 70,1°C, suyun giriş sıcaklığı: 45,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



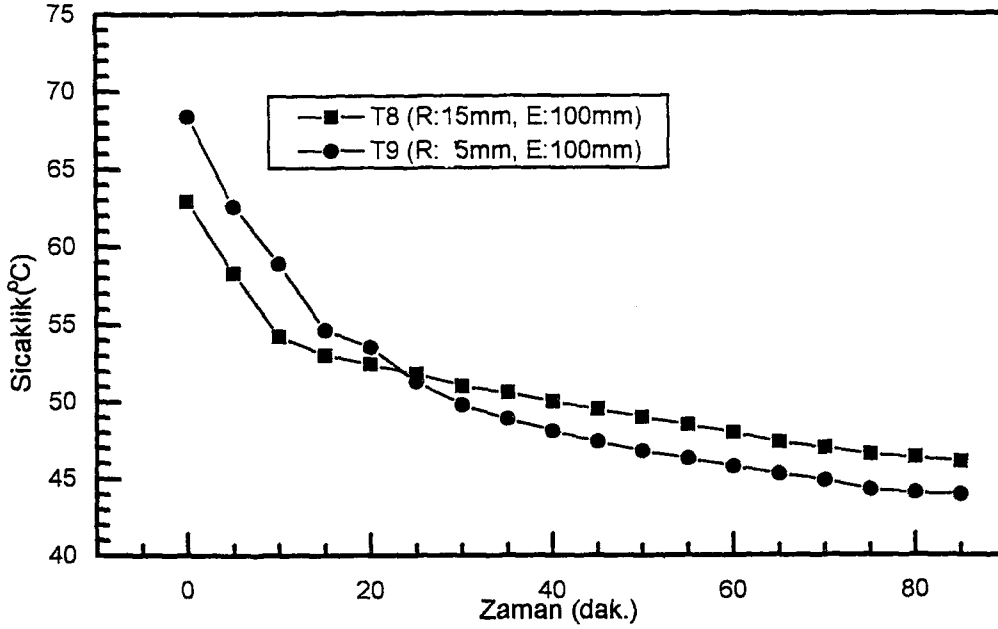
Şekil 4.55. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 72 °C, suyun giriş sıcaklığı: 45,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



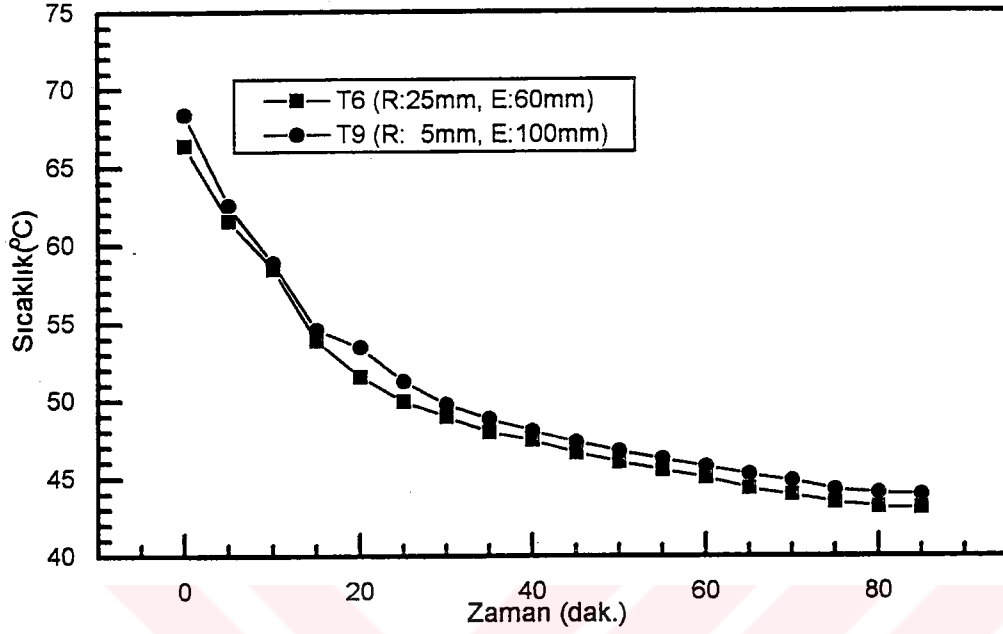
Şekil 4.56. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda)



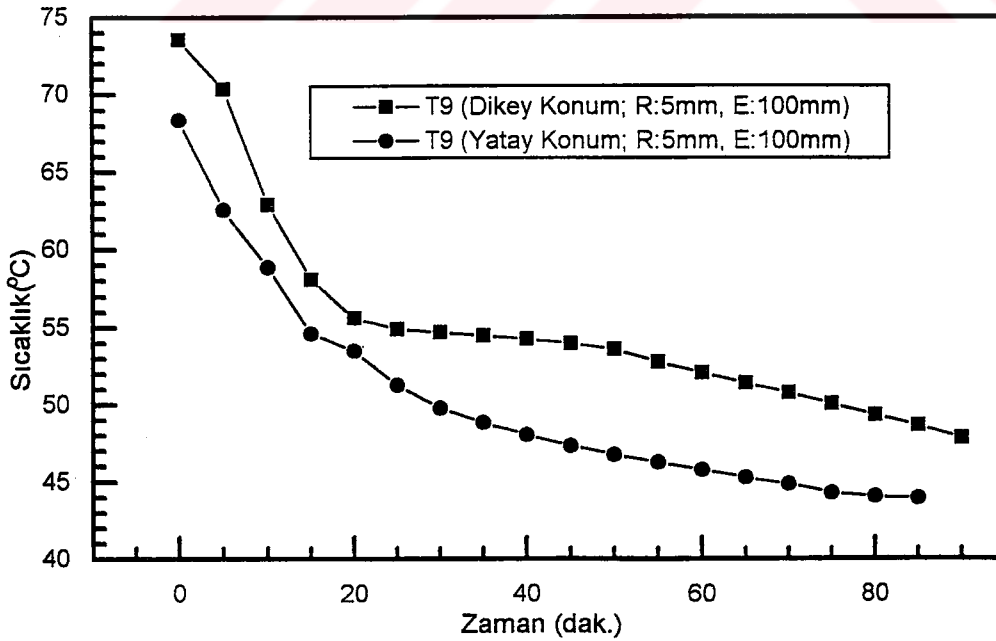
Şekil 4.57. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak., ısı değıştirici YATAY konumda)



Şekil 4.58. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı aksel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değıştirici YATAY konumda)

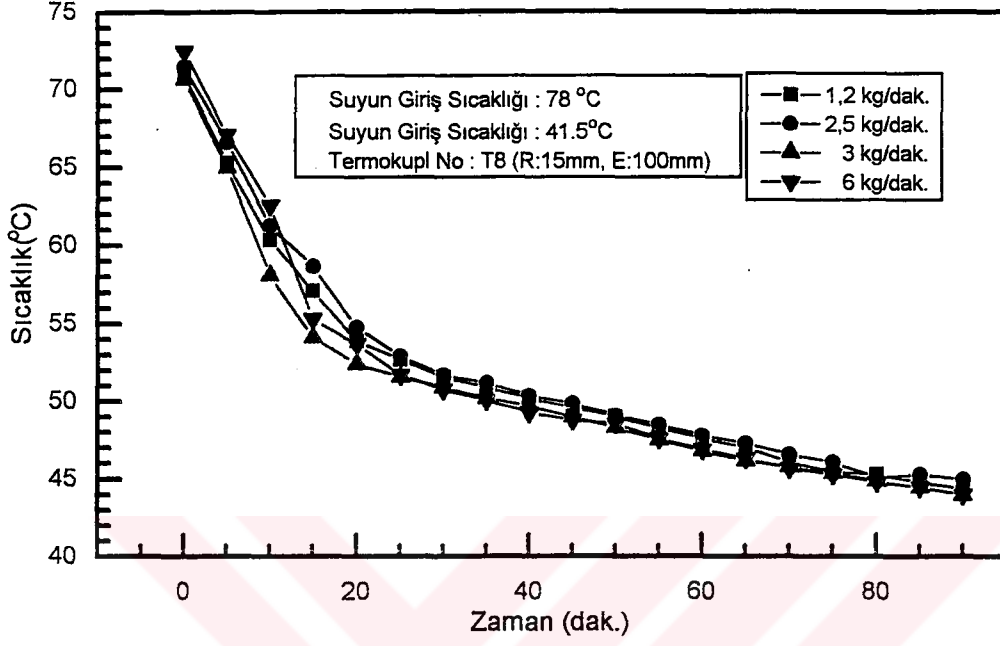


Şekil 4.59. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı eksenel yöndeki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda)

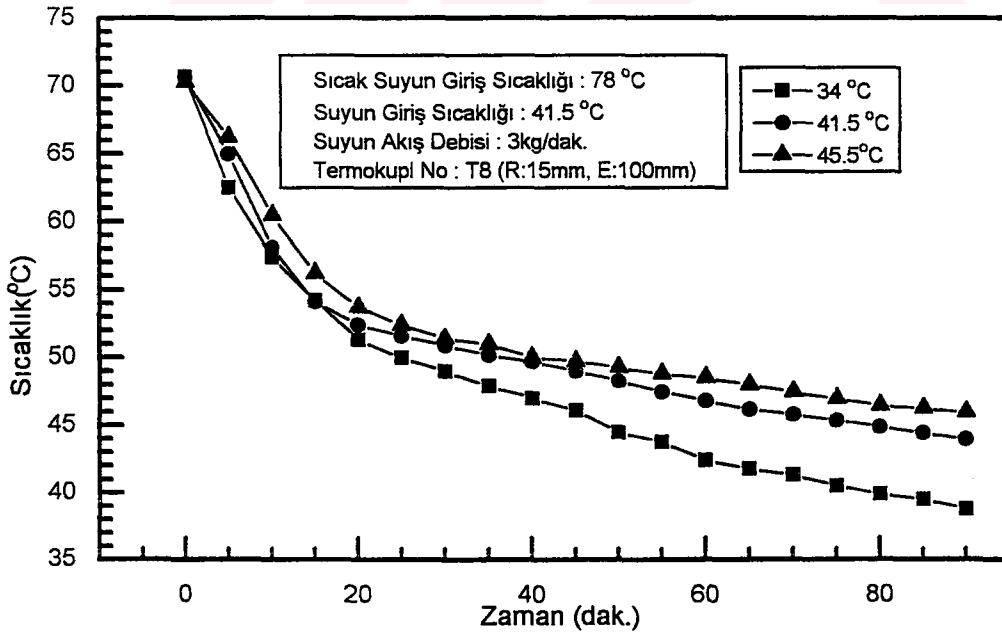


Şekil 4.60. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı ısı değiştirici konumundaki sıcaklık profili (ortalama depolama sıcaklığı: 74 °C, suyun giriş sıcaklığı: 41,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)

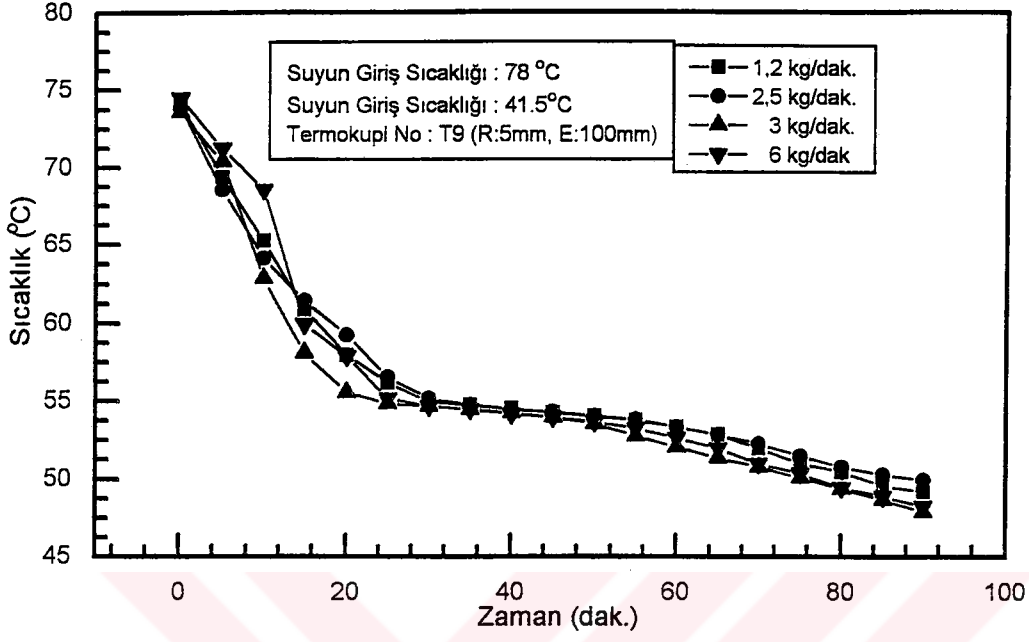




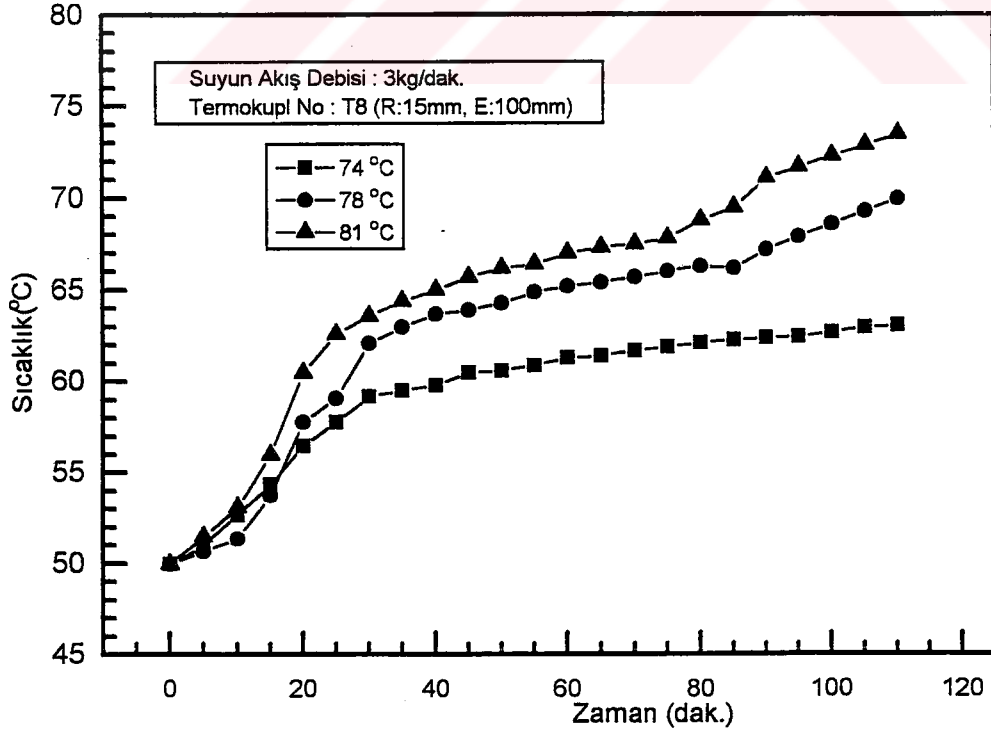
Şekil 4.61. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı debilerdeki sıcaklık profili



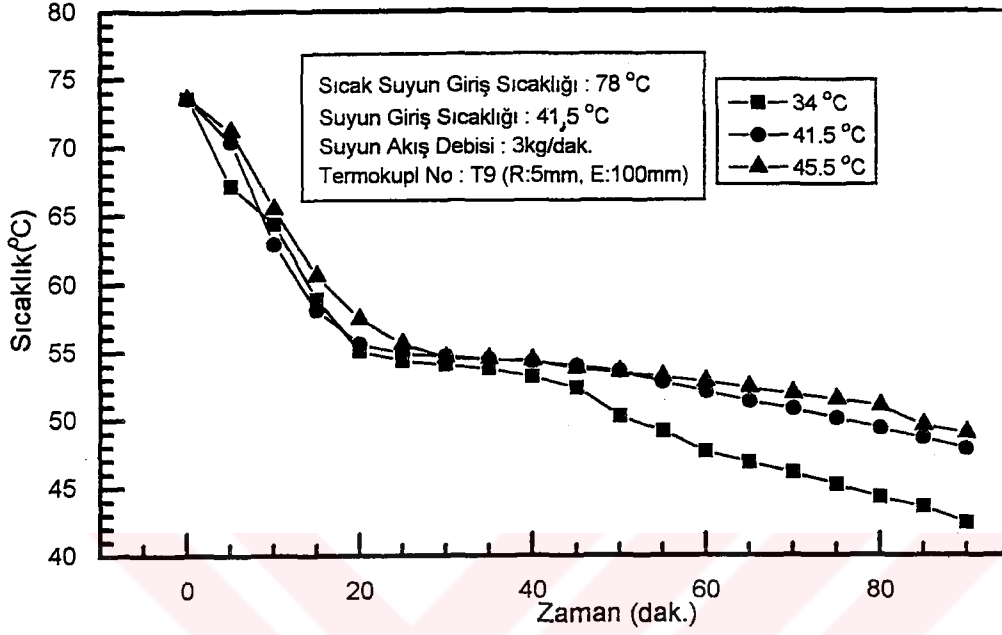
Şekil 4.62. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki katılaşma periyoduna ait sıcaklık profili



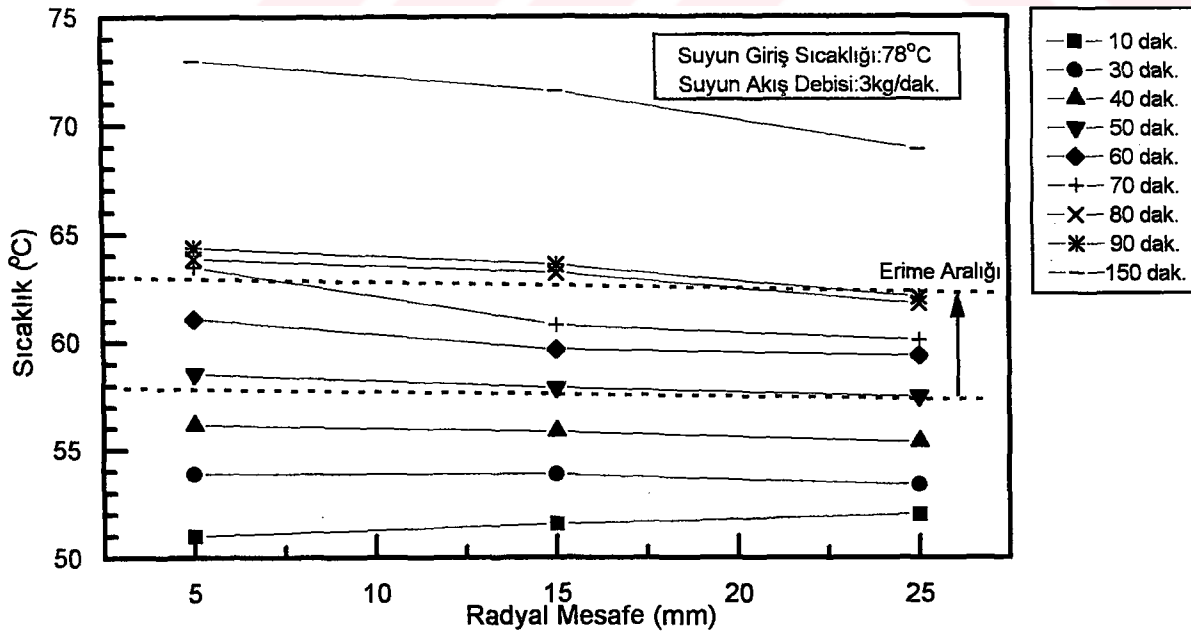
Şekil 4.63. Stearik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı debilerdeki sıcaklık profili



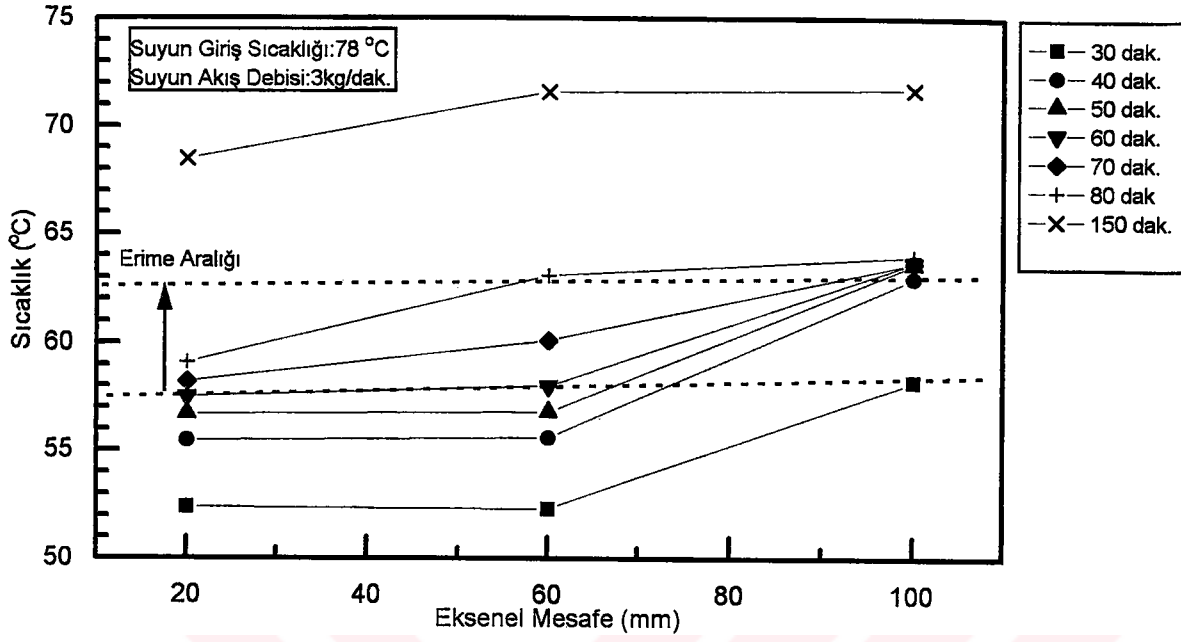
Şekil 4.64. Stearik asit'in erime periyoduna ait farklı debilerdeki sıcaklık profili



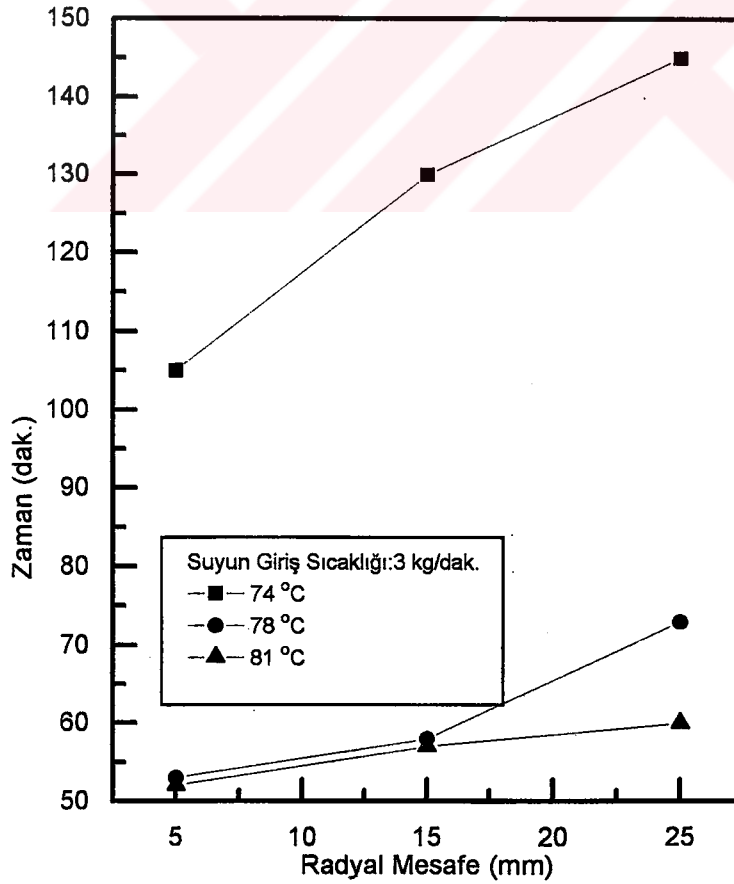
Şekil 4.65. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki katılaşma periyoduna ait sıcaklık profili



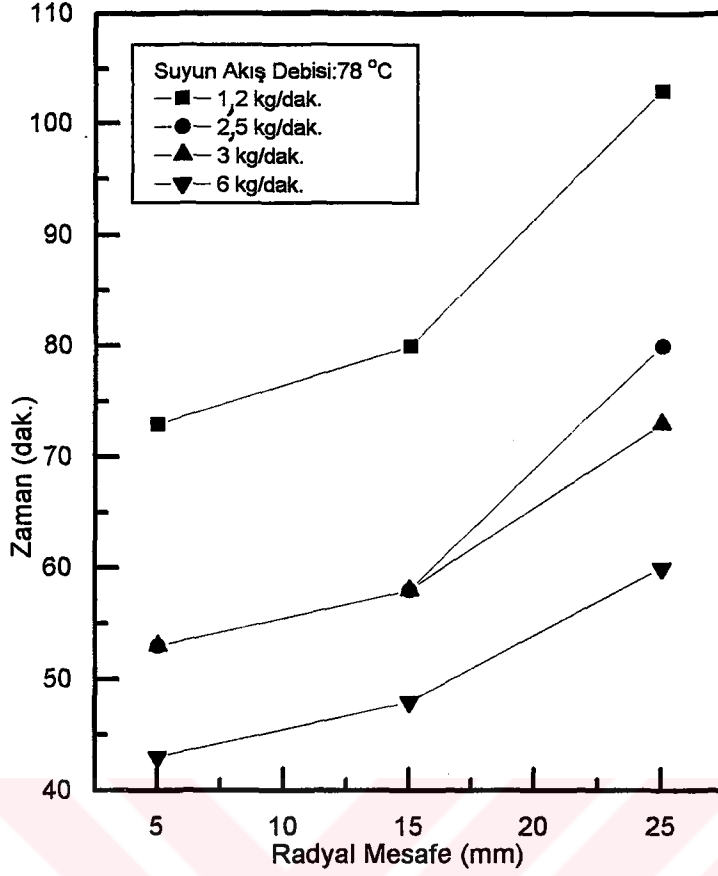
Şekil 4.66. Stearik asit'in farklı sürelerdeki radyal yöndeki sıcaklık profili



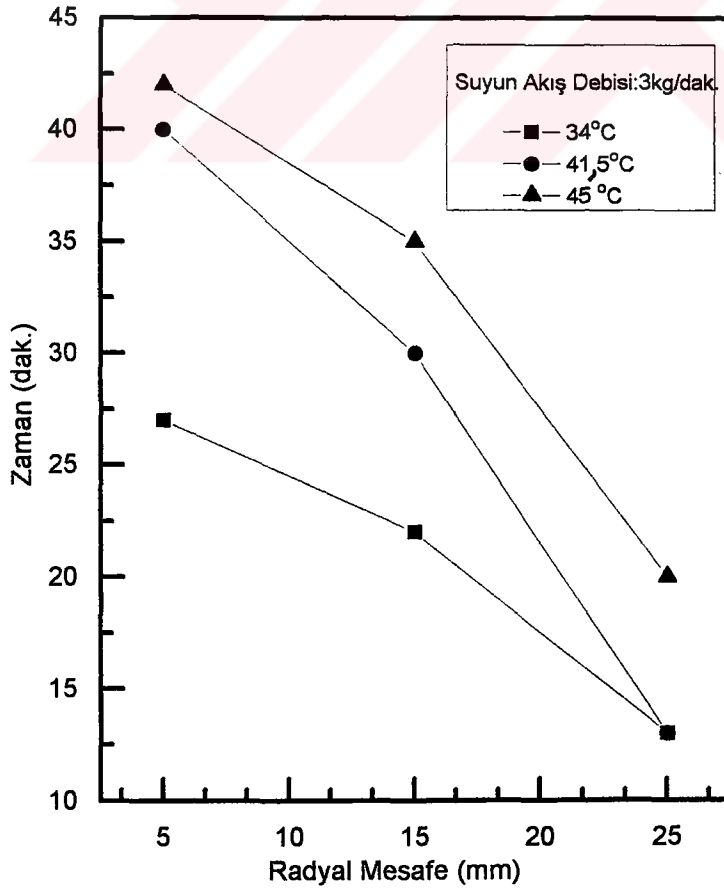
Şekil 4.67. Stearik asit'in farklı sürelerdeki aksel yöndeki sıcaklık profili



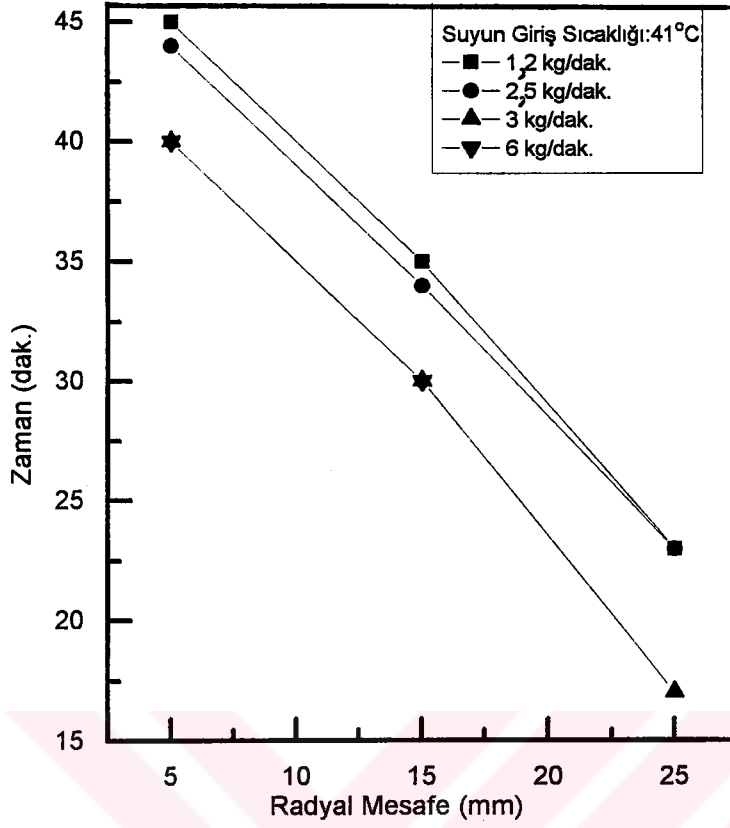
Şekil 4.68. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki ve radyal yöndeki erime süreleri



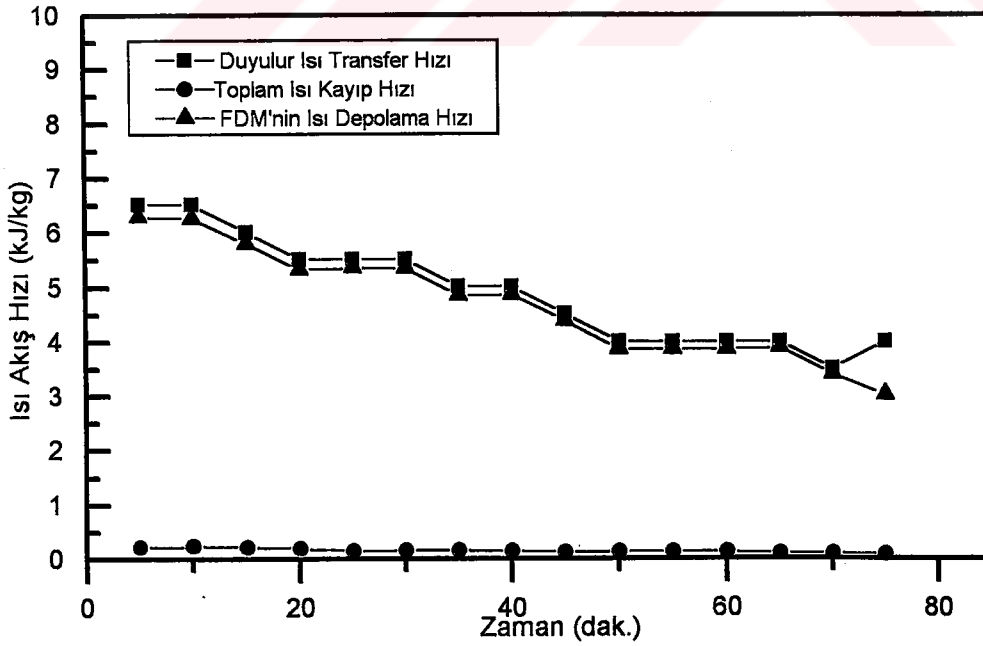
Şekil 4.69. Stearik asit'in farklı debilerdeki ve radyal yöndeki erime süreleri



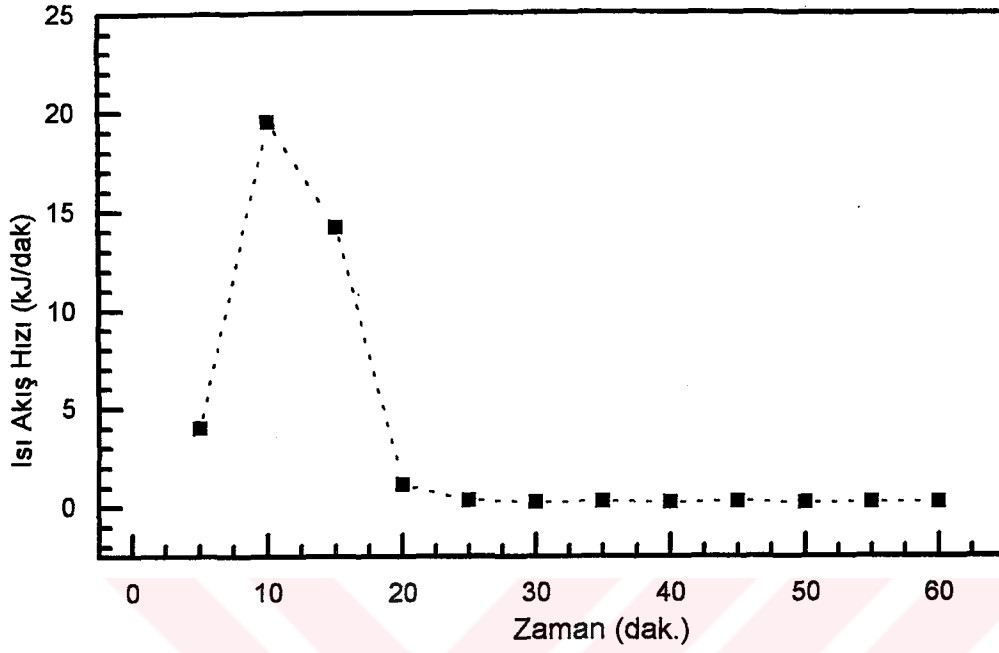
Şekil 4.70. Stearik asit'in farklı giriş sıcaklıklarındaki ve radyal yöndeki katılaşma süreleri



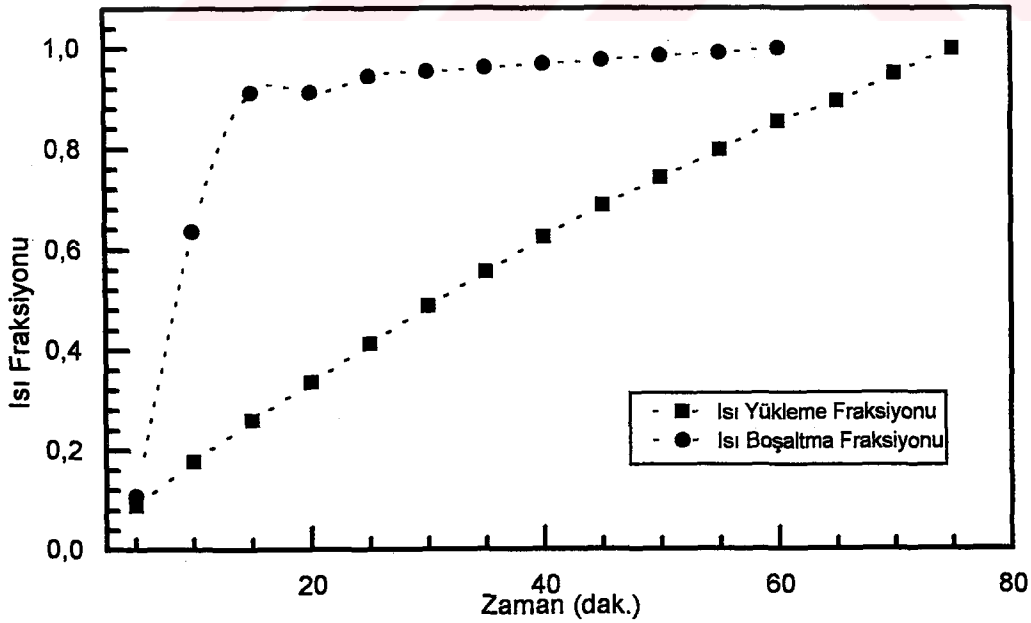
Şekil 4.71. Stearik asit'in farklı debilerdeki ve radyal yöndeki katılaşma süreleri



Şekil 4.72. Stearik asit'in erime periyodu süresince gerçekleşen ısı akış hızları (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)

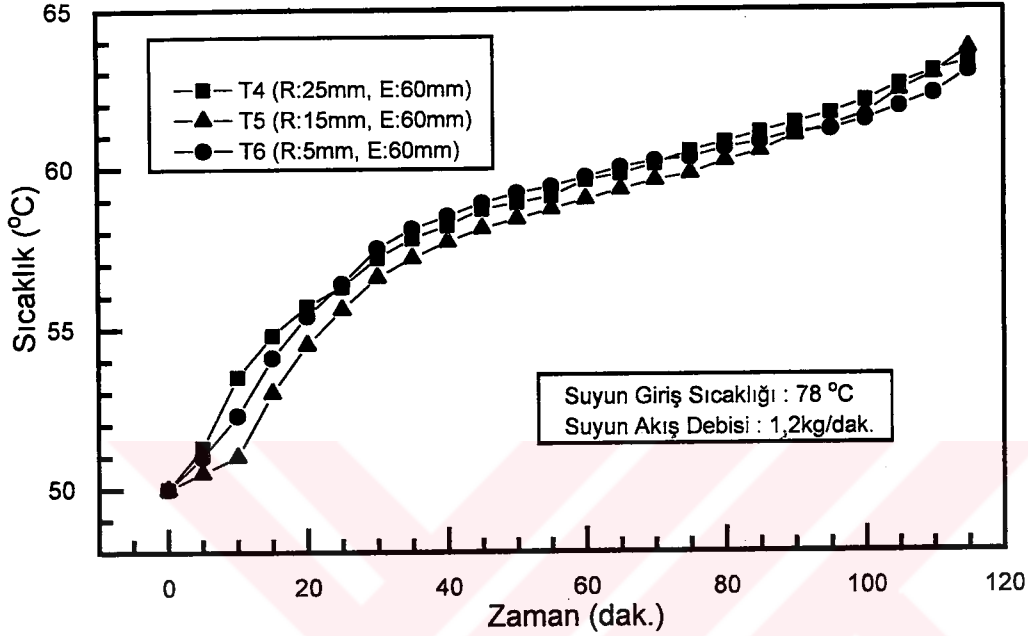


Şekil 4.73. Stearik asit'in katılaşması süresince FDM'den çekilen ısının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)

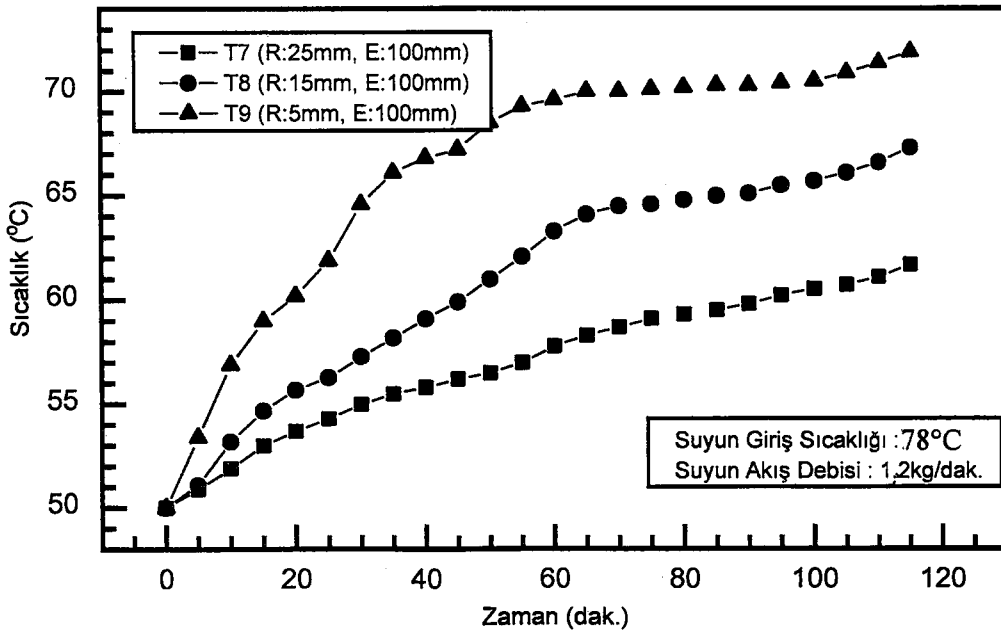


Şekil 4.74. Stearik asit'in erime (ısı yükleme) ve katılaşma (ısı boşaltma) periyotlarına ait ısı fraksiyonlarının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C / 38 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)

#### 4.2. Palmitik Asit İçin Faz Değişim Eğrileri ve Isı Transfer Bulguları

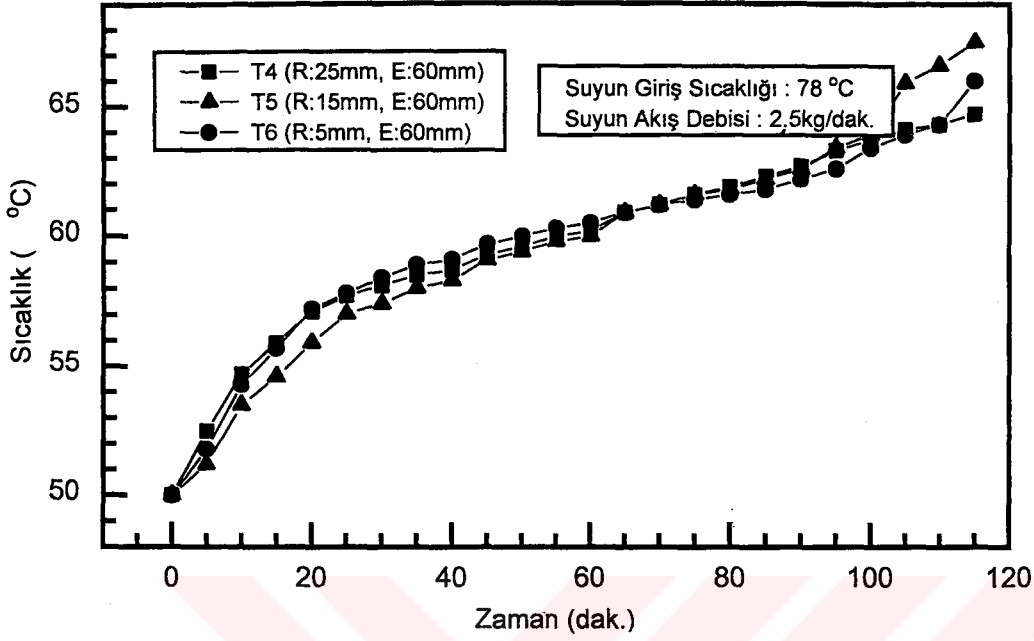


Şekil 4.75. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.)

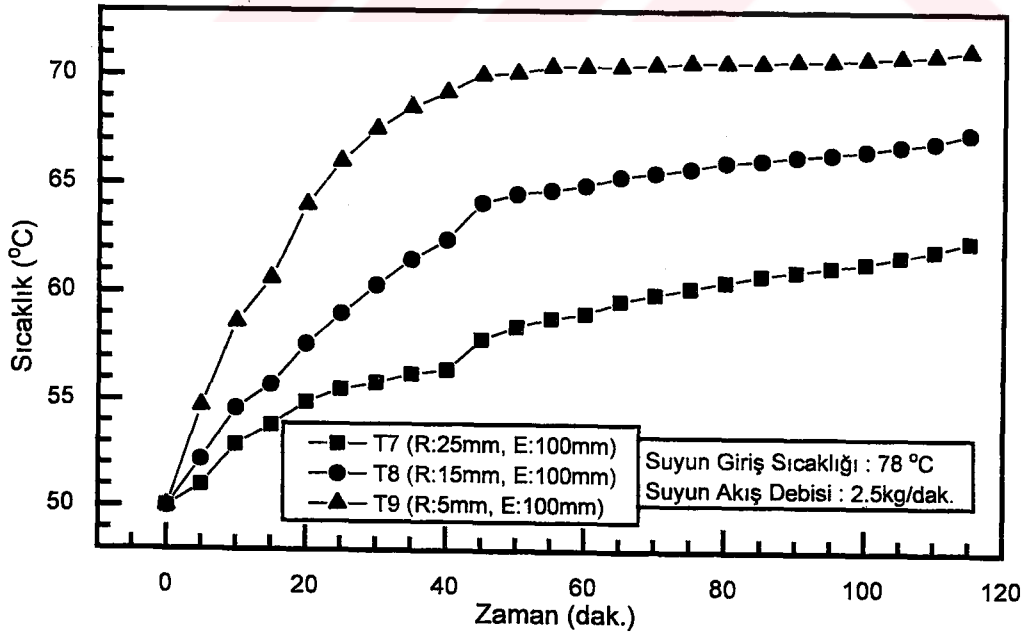


Şekil 4.76. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak.)

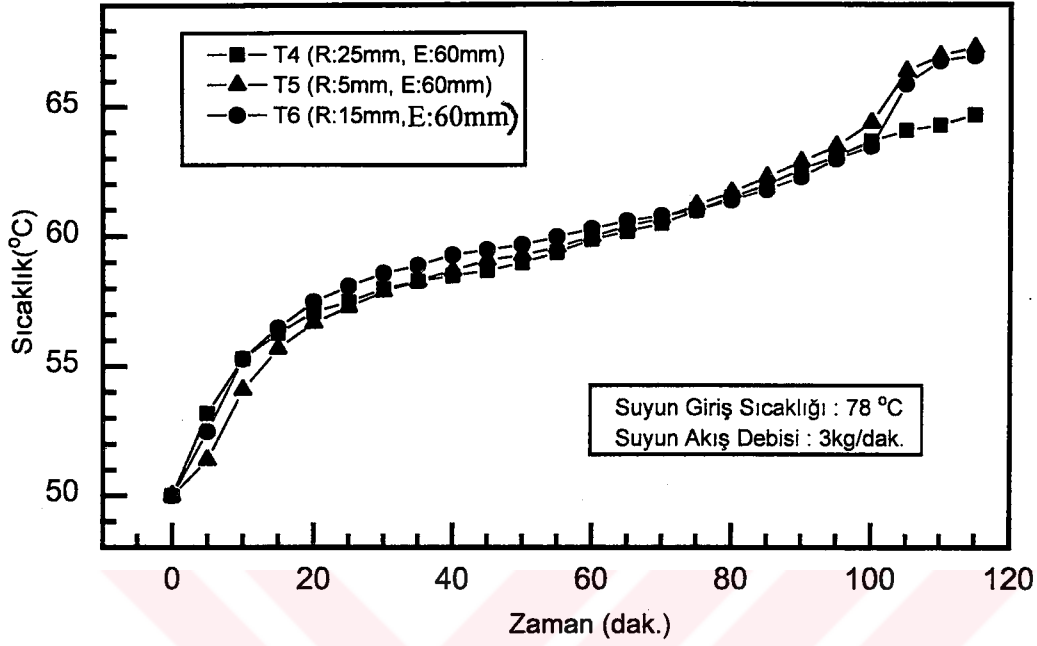




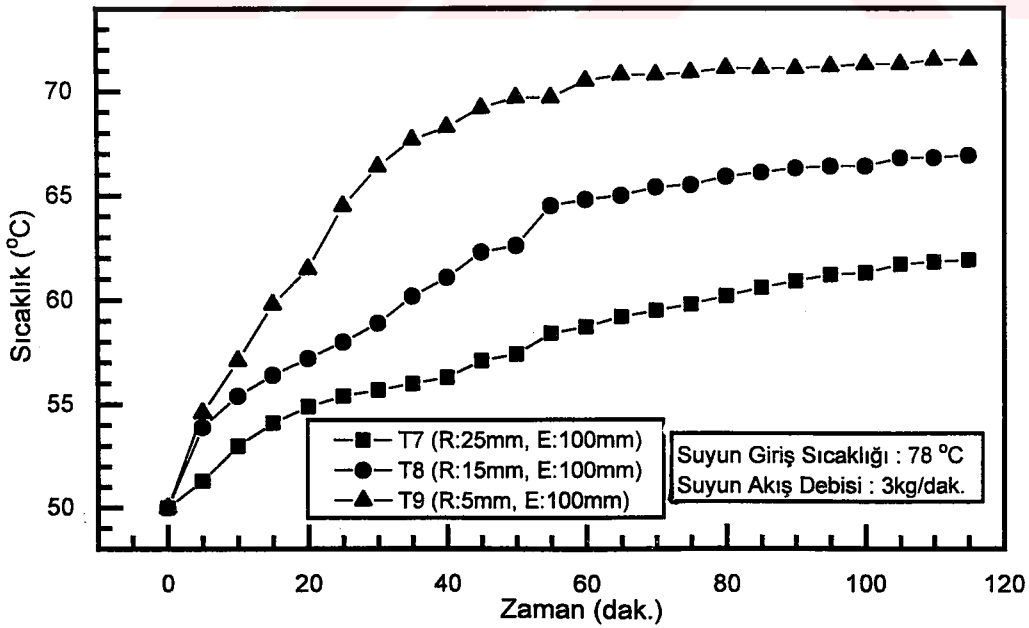
Şekil 4.77. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



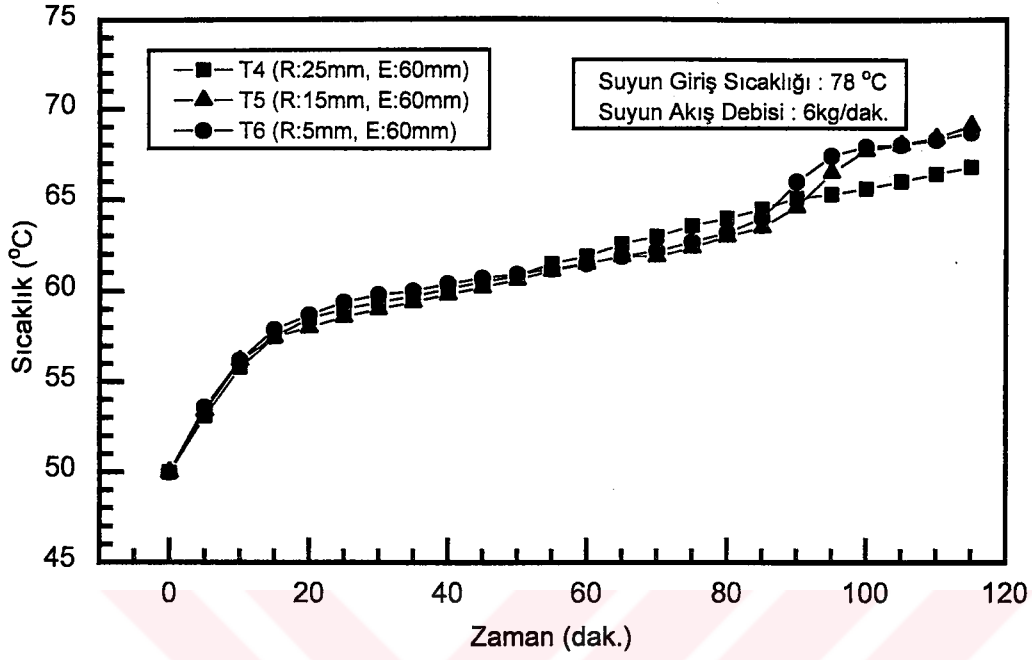
Şekil 4.78. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



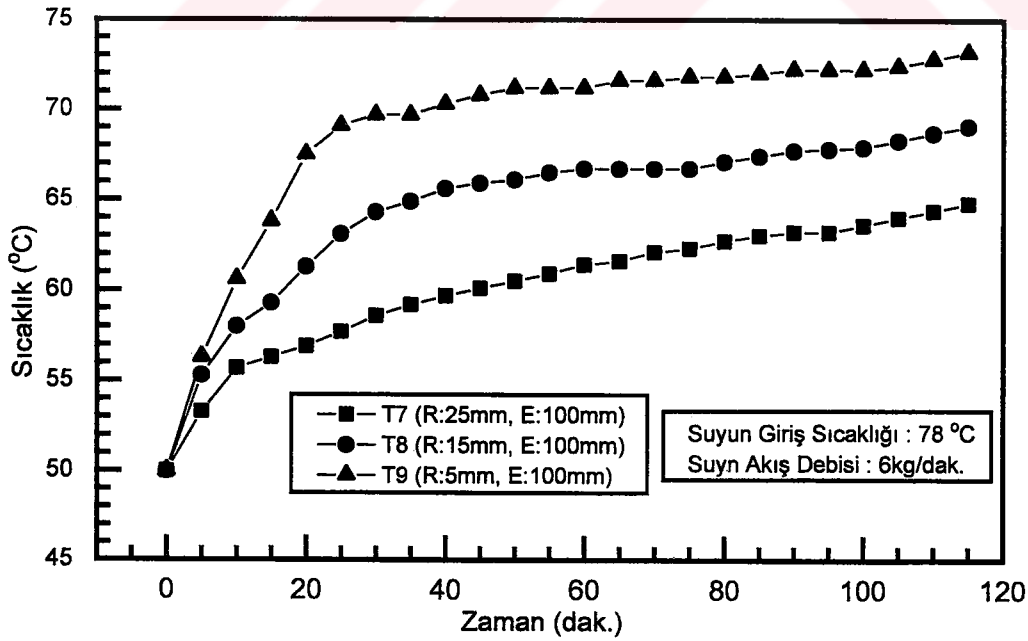
Şekil 4.79. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



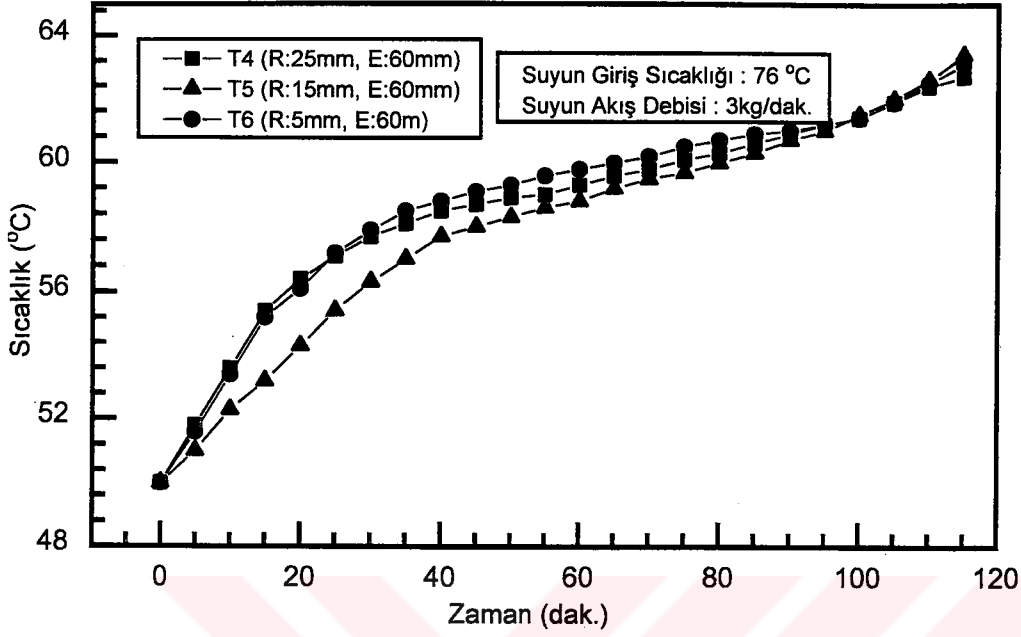
Şekil 4.80. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



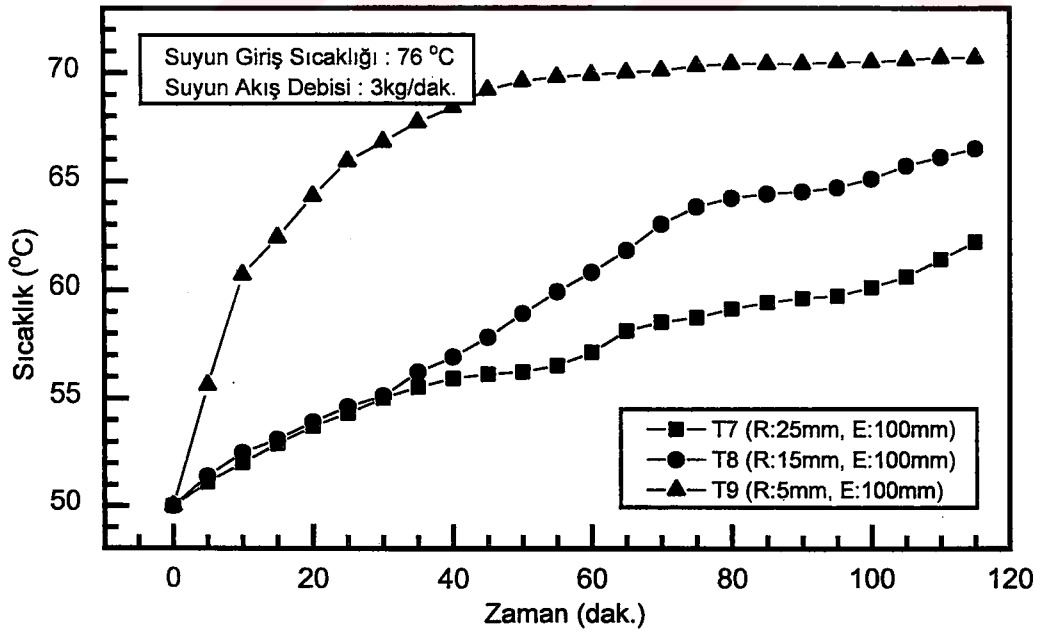
Şekil 4.81. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



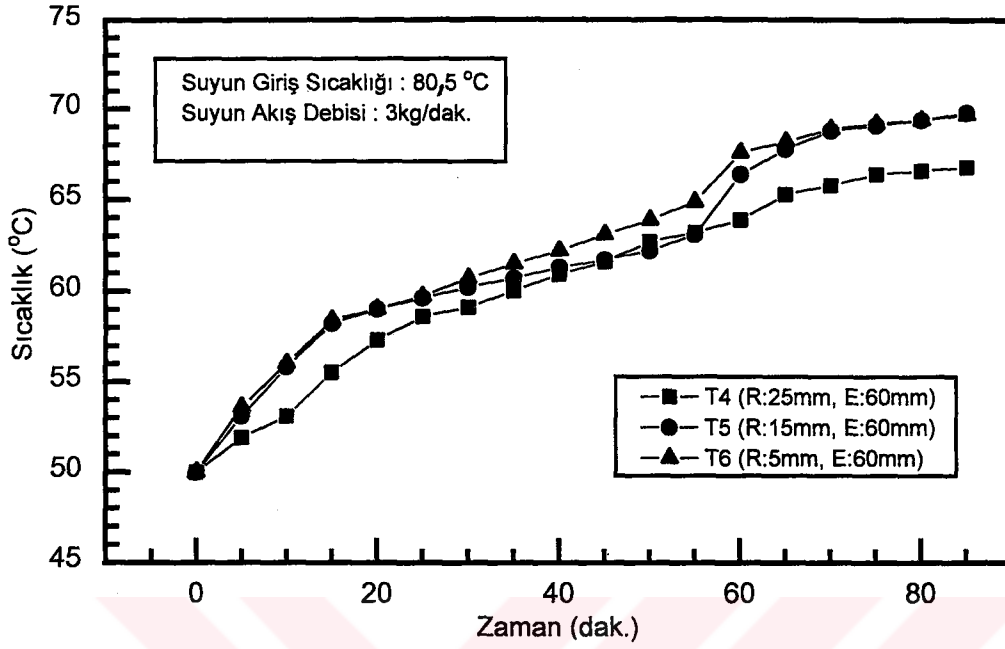
Şekil 4.82. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



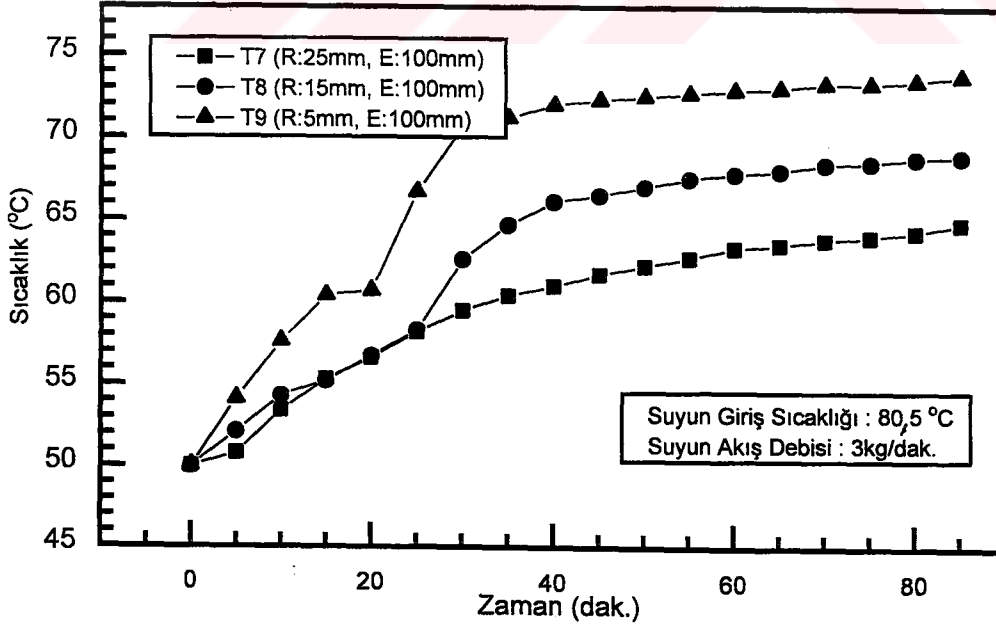
Şekil 4.83. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 76 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



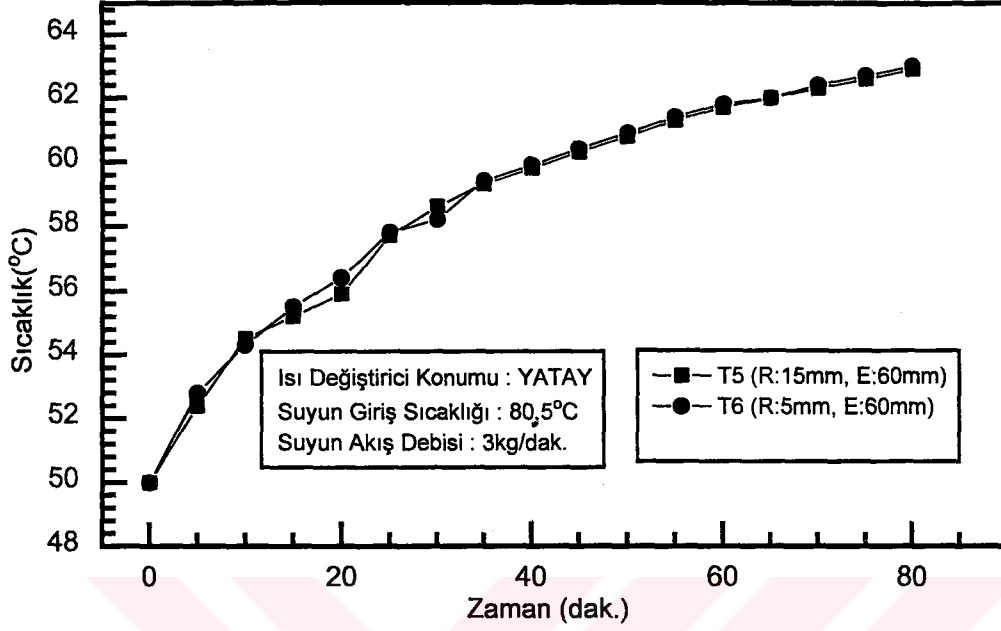
Şekil 4.84. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 76 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



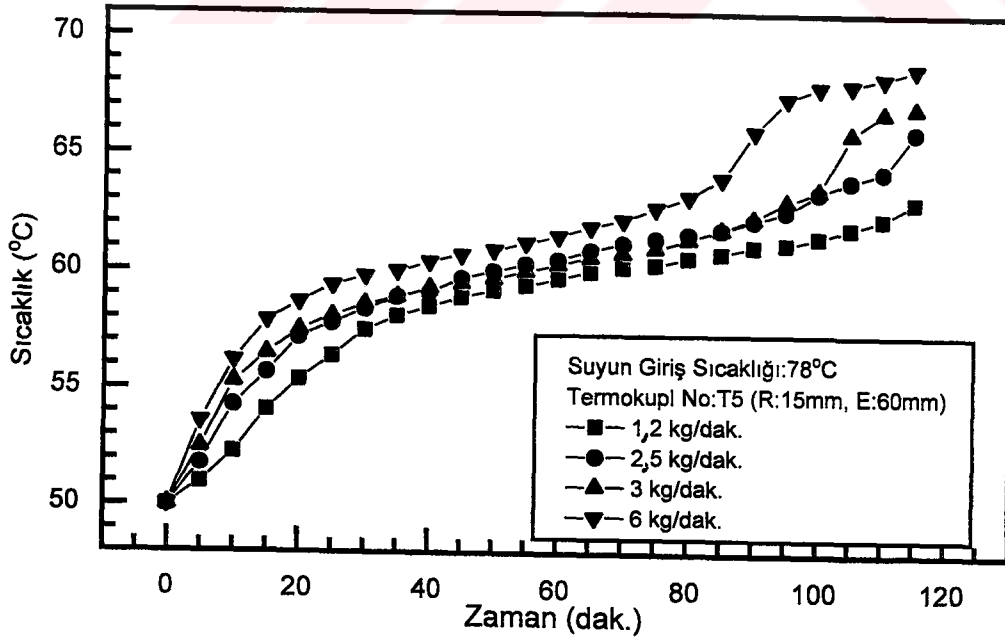
Şekil 4.85. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, suyun giriş sıcaklığı:80,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.)



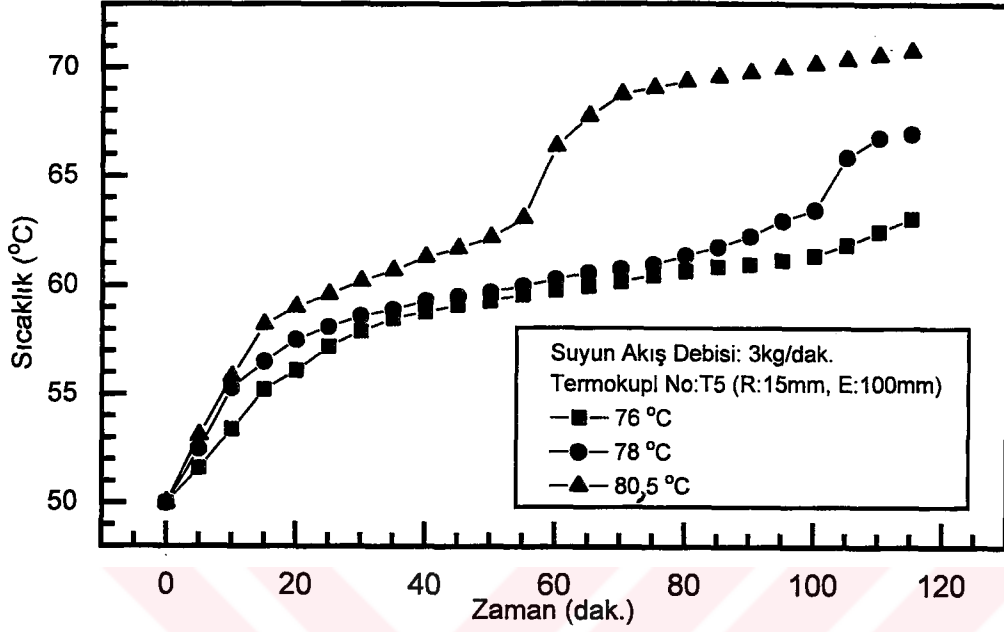
Şekil 4.86. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100 mm, suyun giriş sıcaklığı:80,5 °C ve suyun akış debisi:3 kg/dak.)



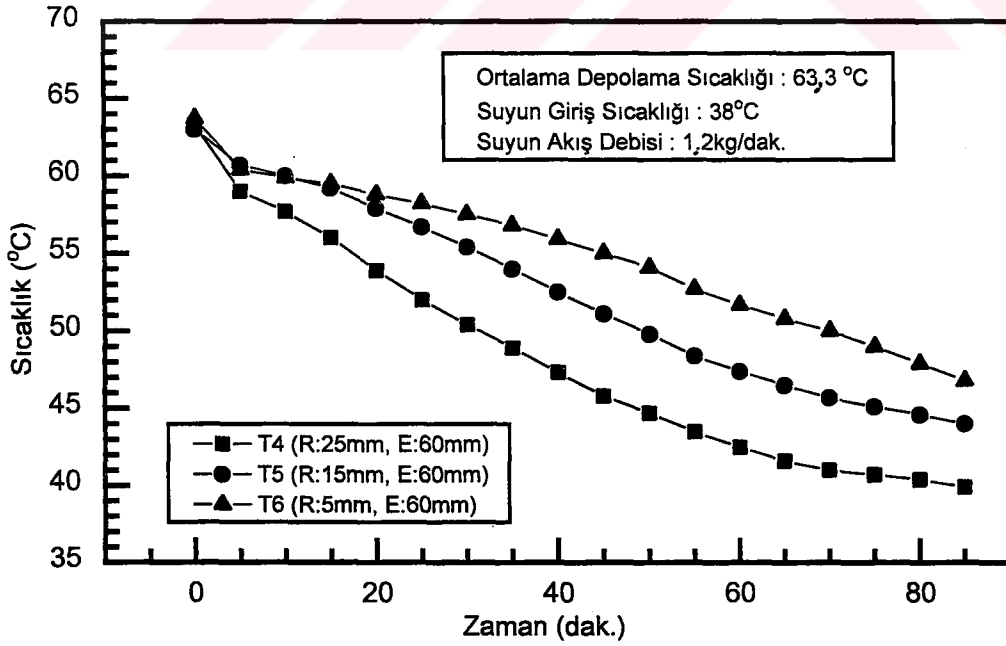
Şekil 4.87. Palmitik asit'in erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 80,5 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici YATAY konumda)



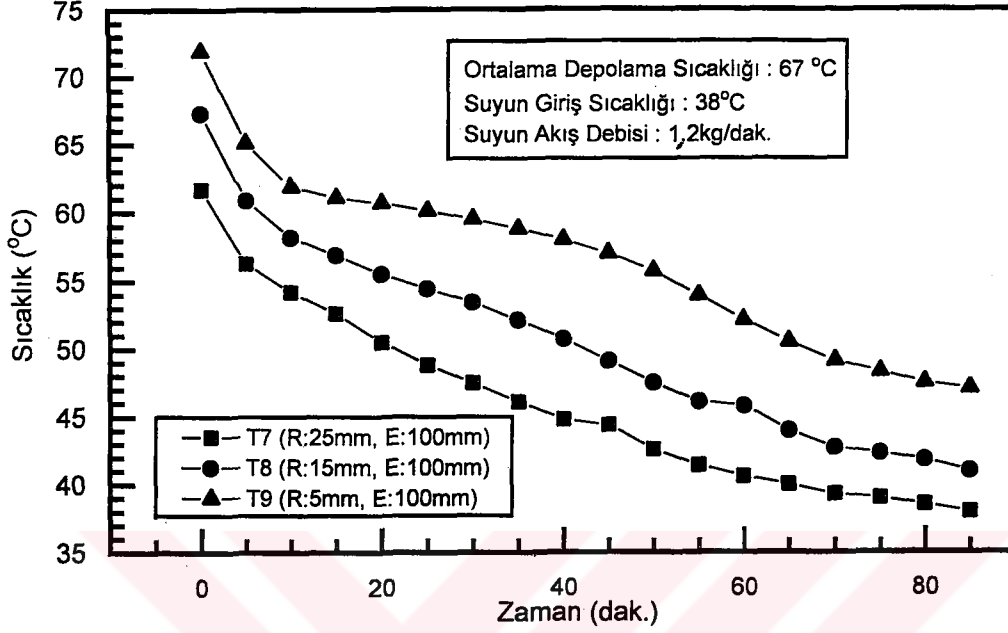
Şekil 4.88. Palmitik asit'in farklı su akış debilerindeki erime profili



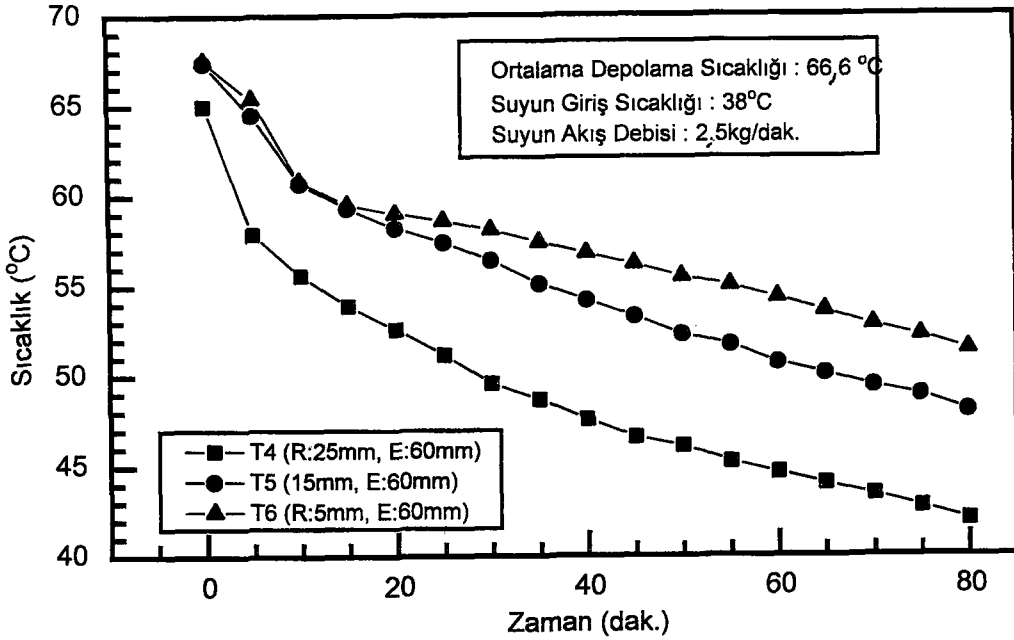
Şekil 4.89. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki erime profili



Şekil 4.90. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)

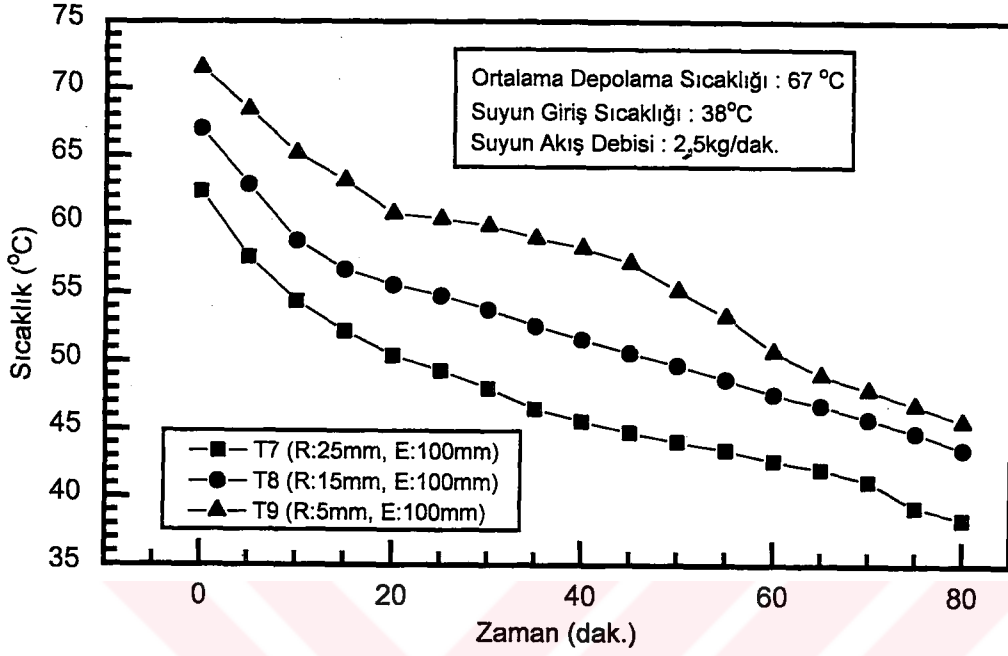


Şekil 4.91. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)

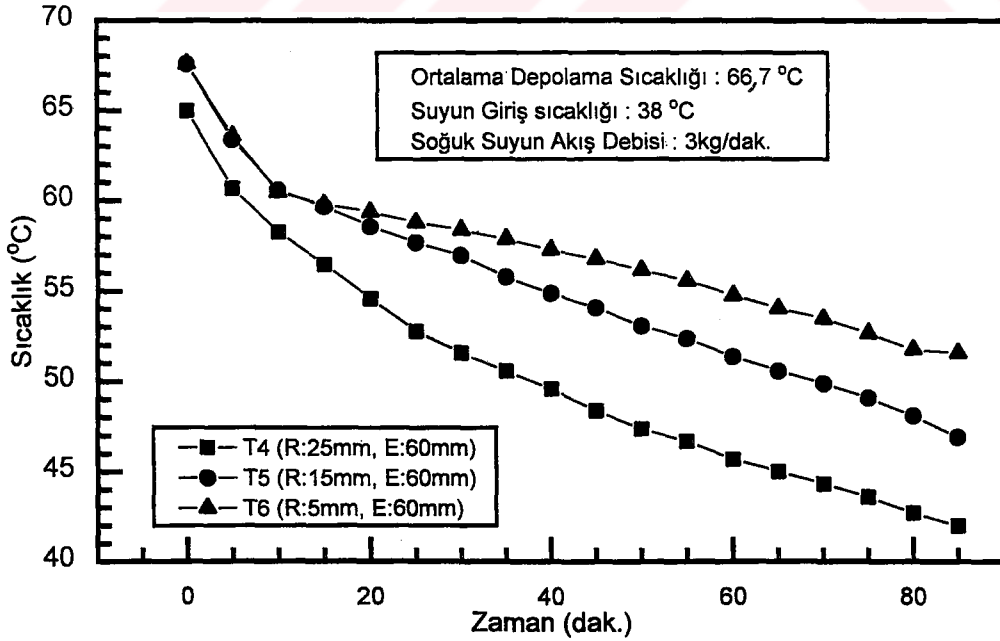


Şekil 4.92. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)

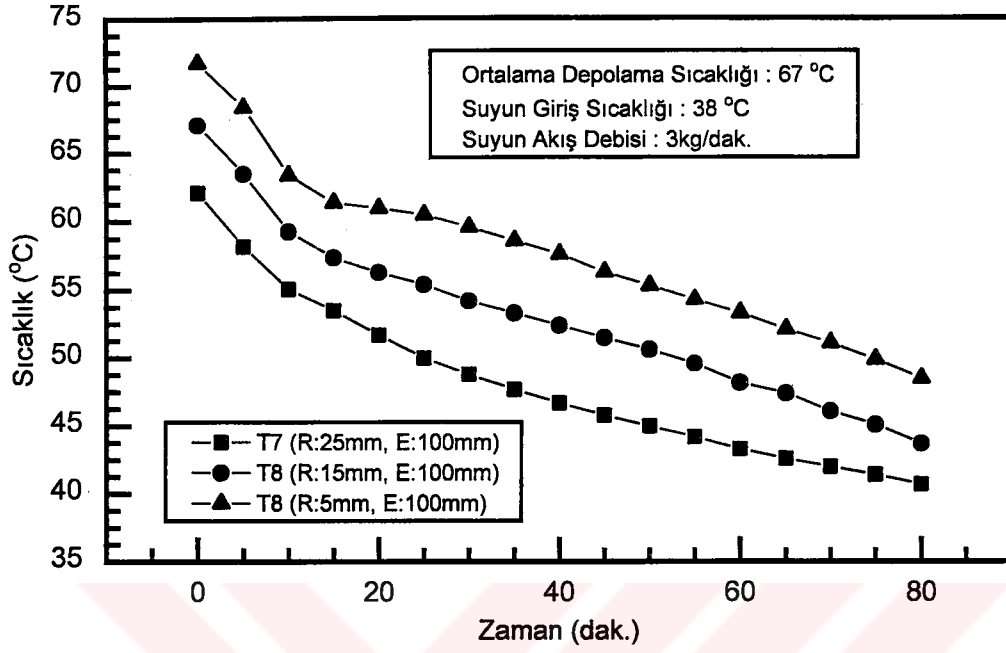




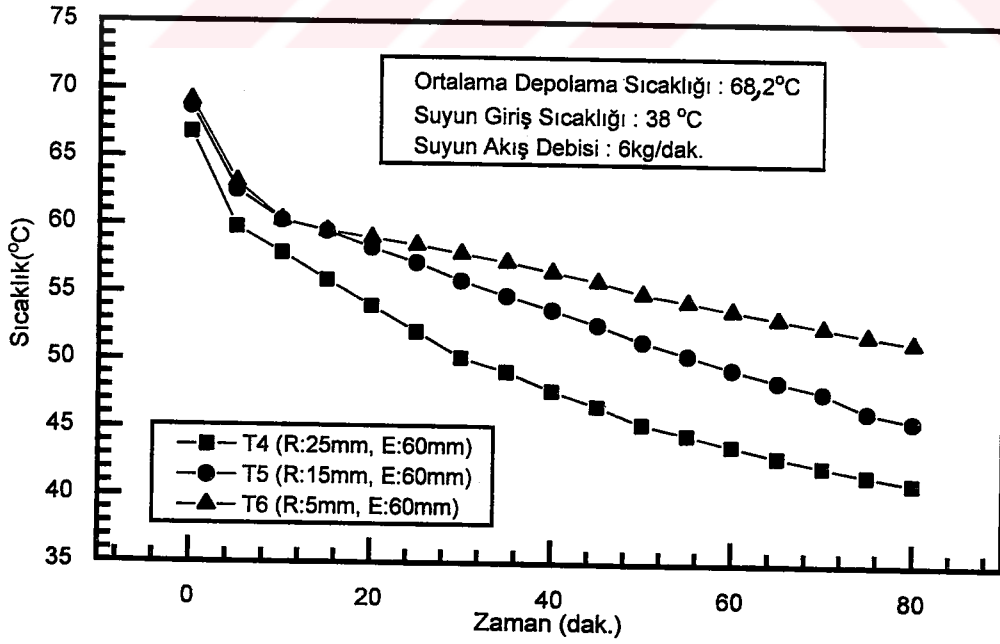
Şekil 4.93. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



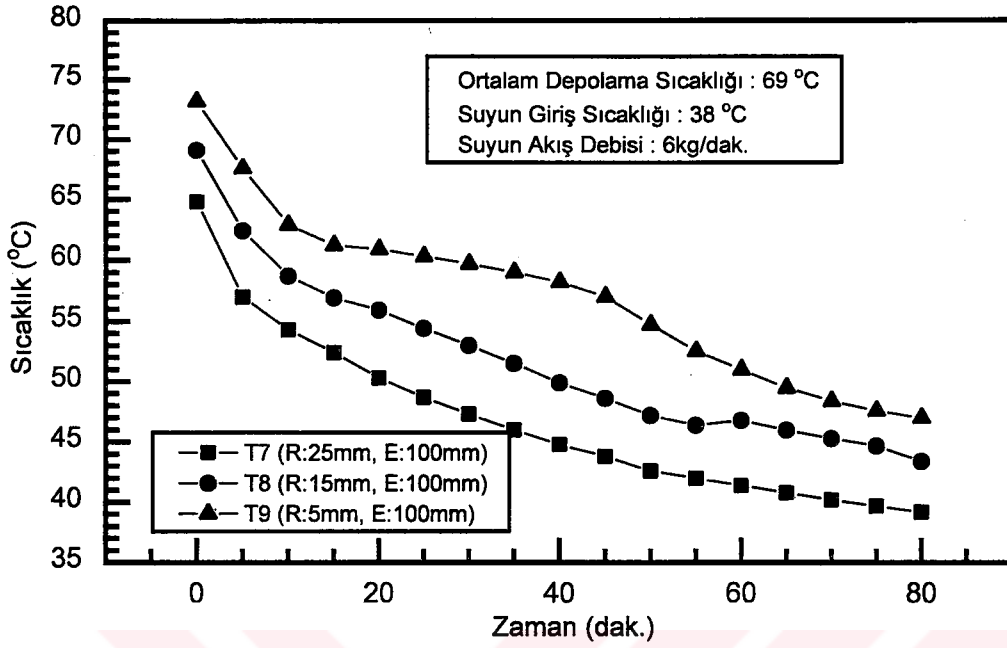
Şekil 4.94. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



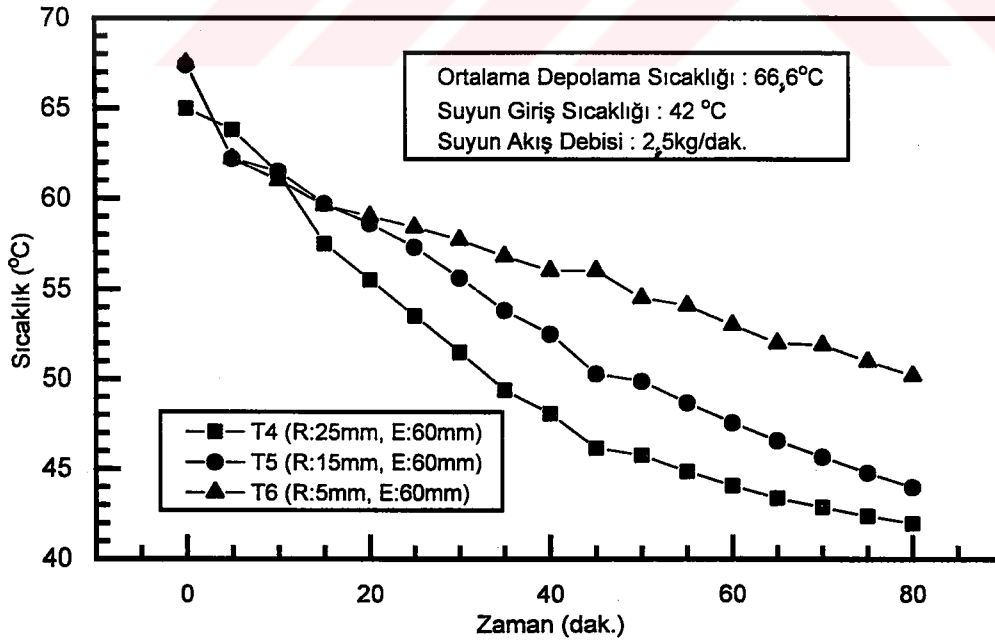
Şekil 4.95. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak.)



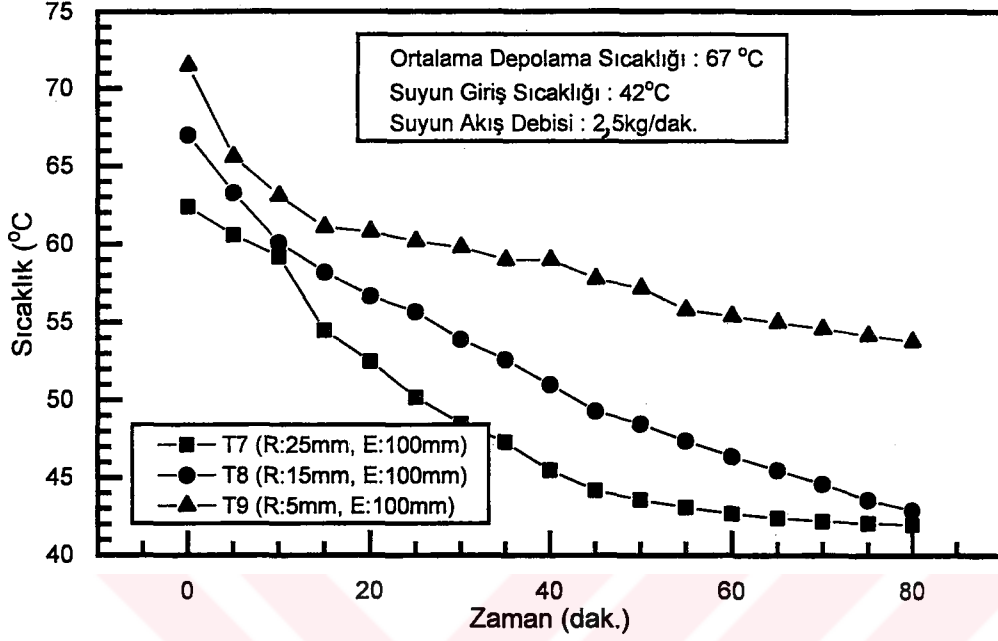
Şekil 4.96. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



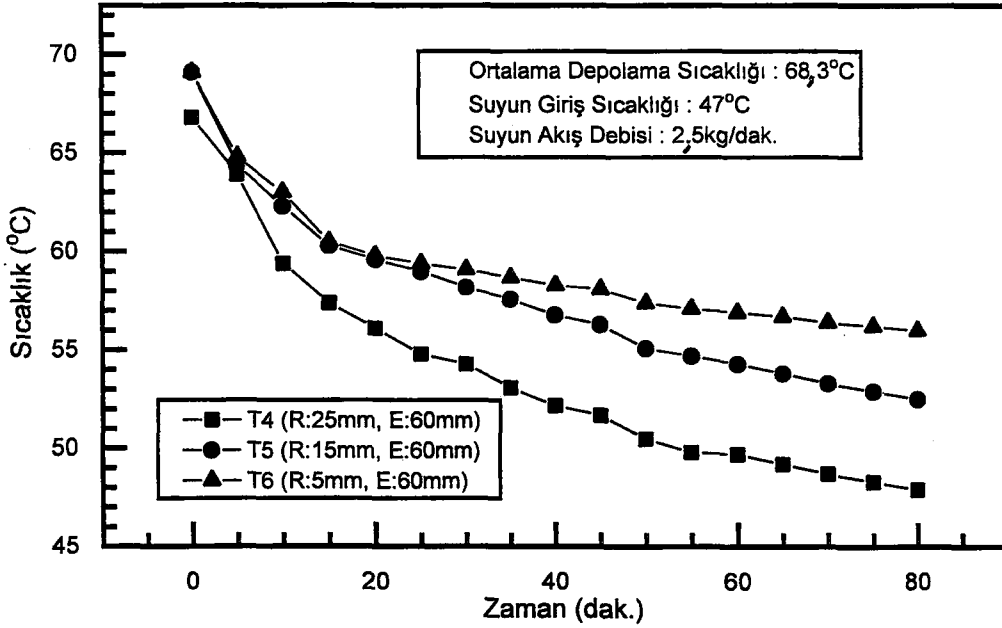
Şekil 4.97. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 38 °C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak.)



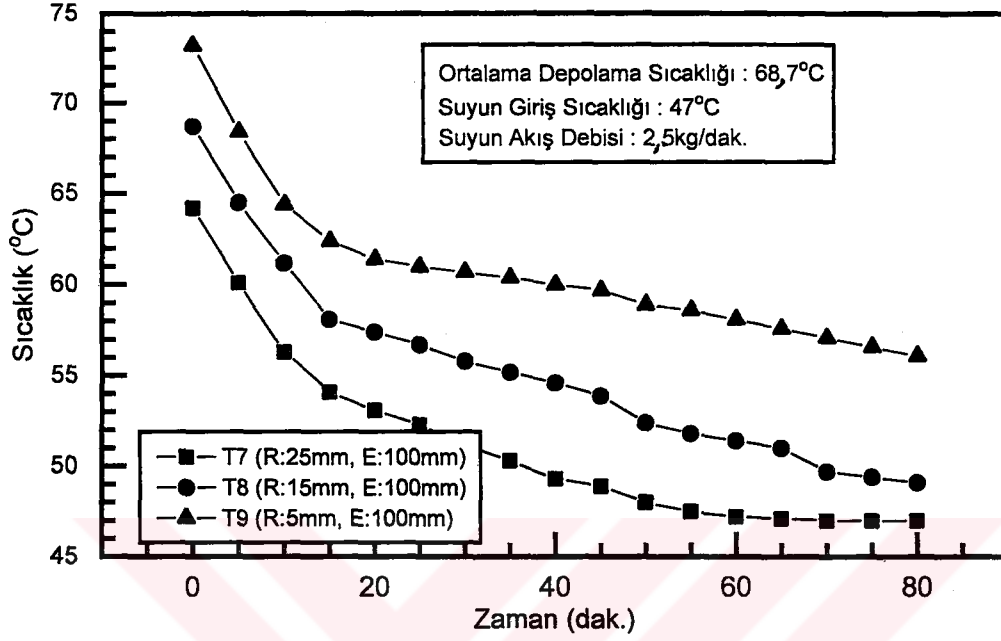
Şekil 4.98. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



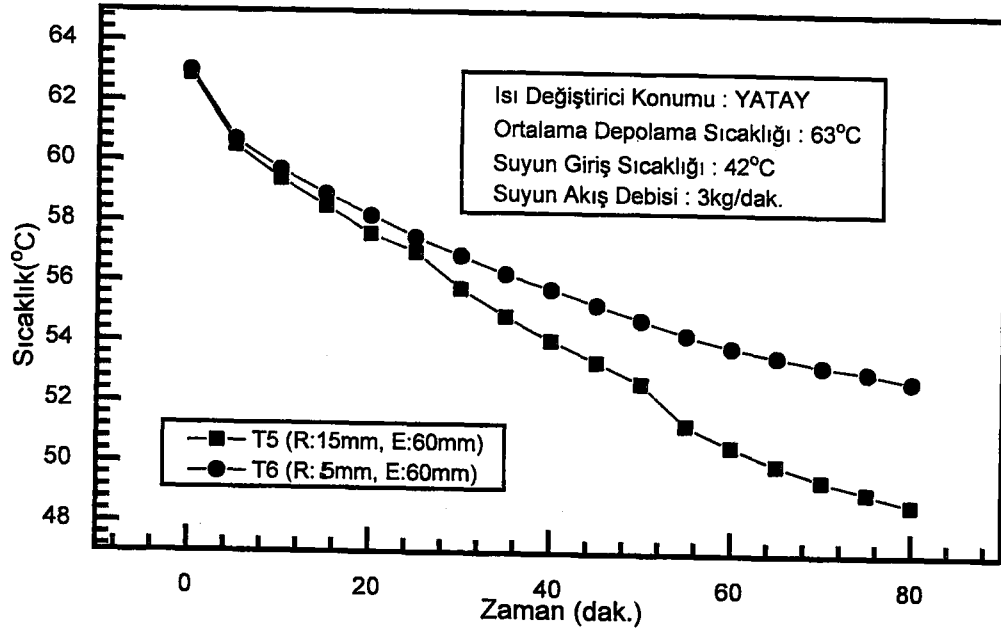
Şekil 4.99. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



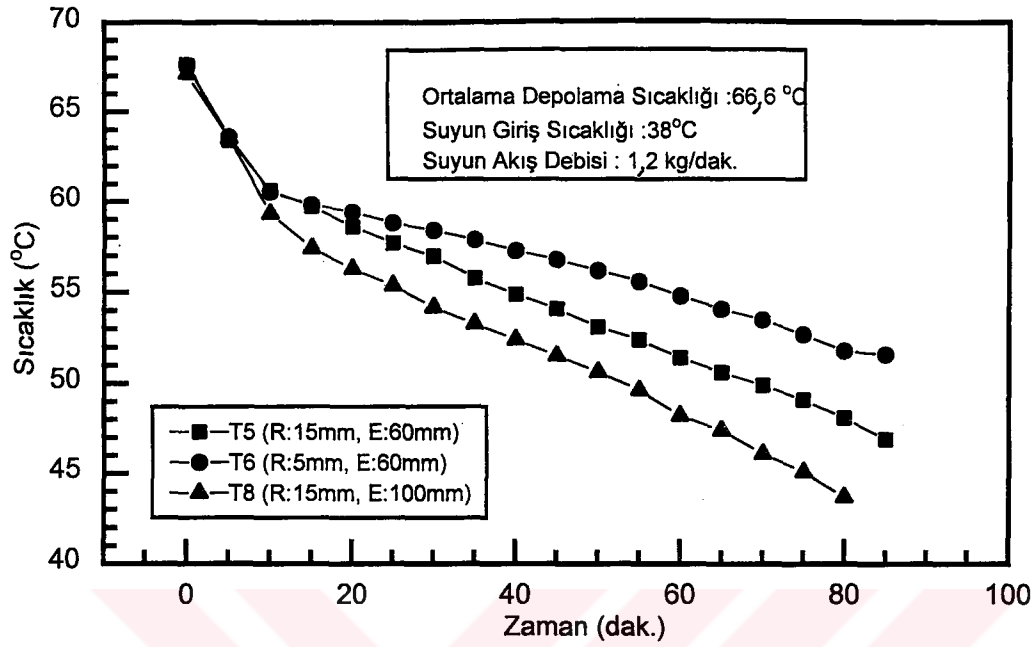
Şekil 4.100. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 47 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



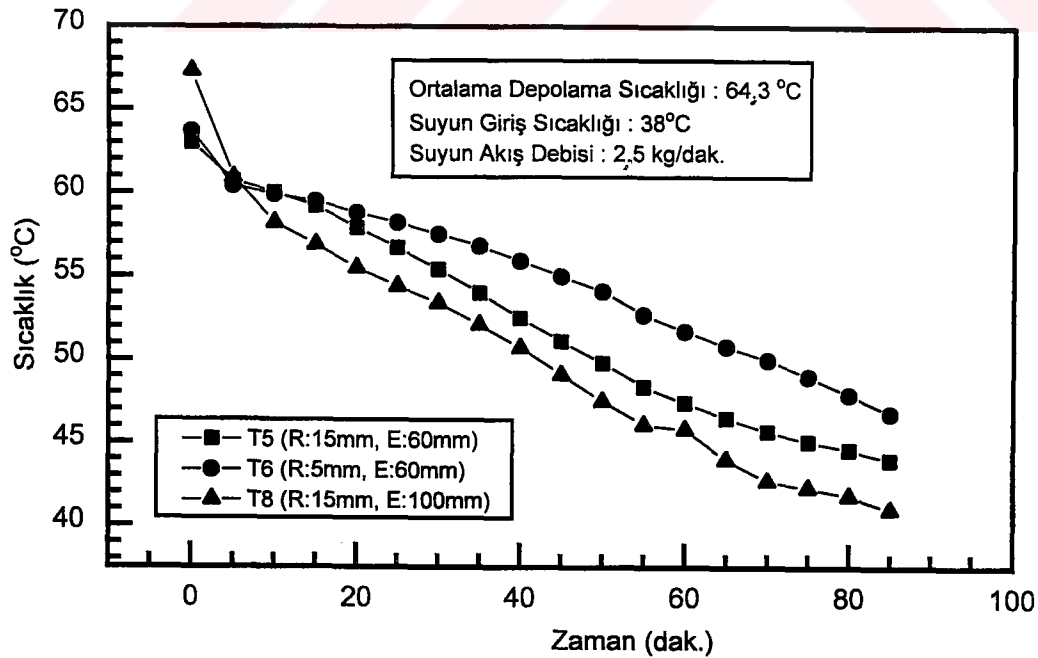
Şekil 4.101. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100 mm, suyun giriş sıcaklığı: 47 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



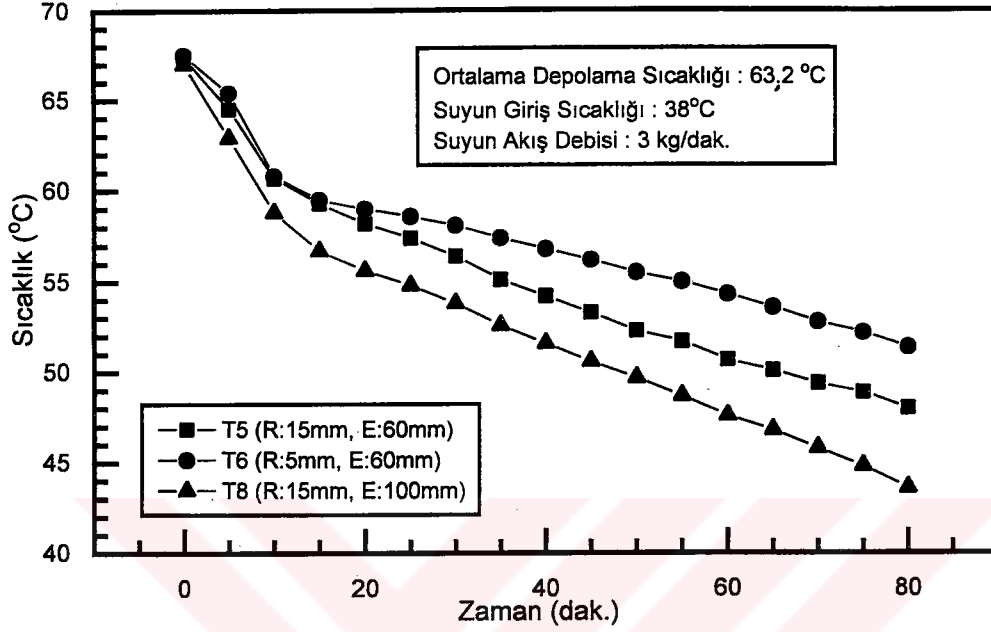
Şekil 4.102. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak, ısı değiştirici YATAY konumda )



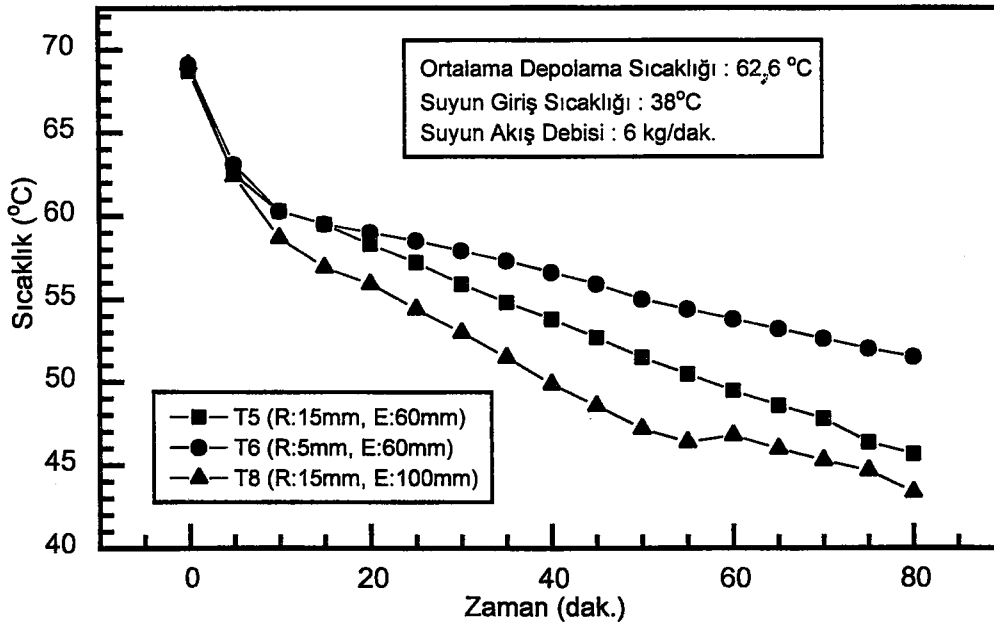
Şekil 4.103. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:38°C ve suyun akış debisi:1,2kg/dak.)



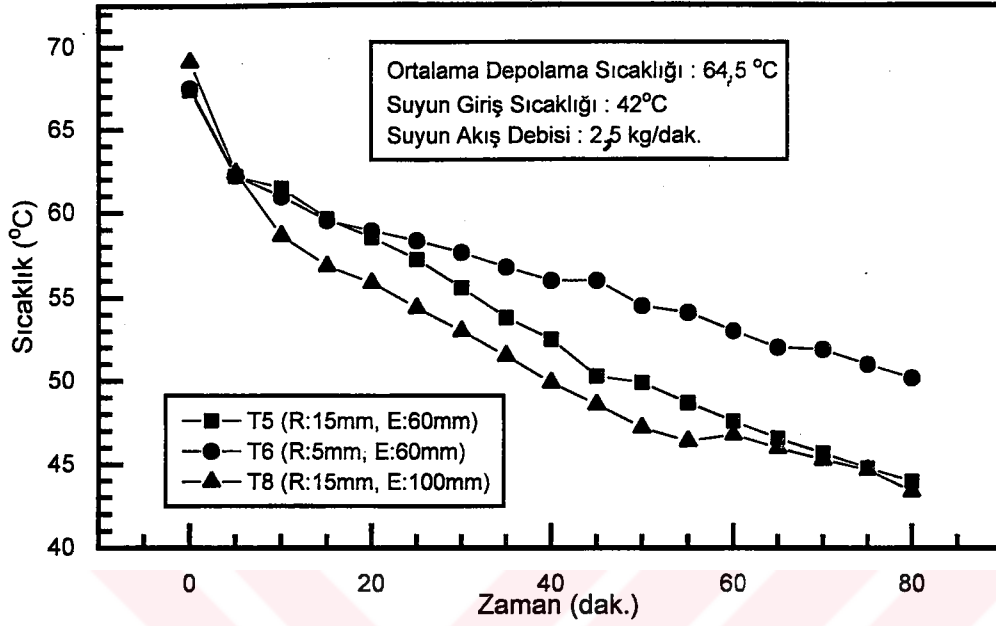
Şekil 4.104. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:38°C ve suyun akış debisi:2,5kg/dak.)



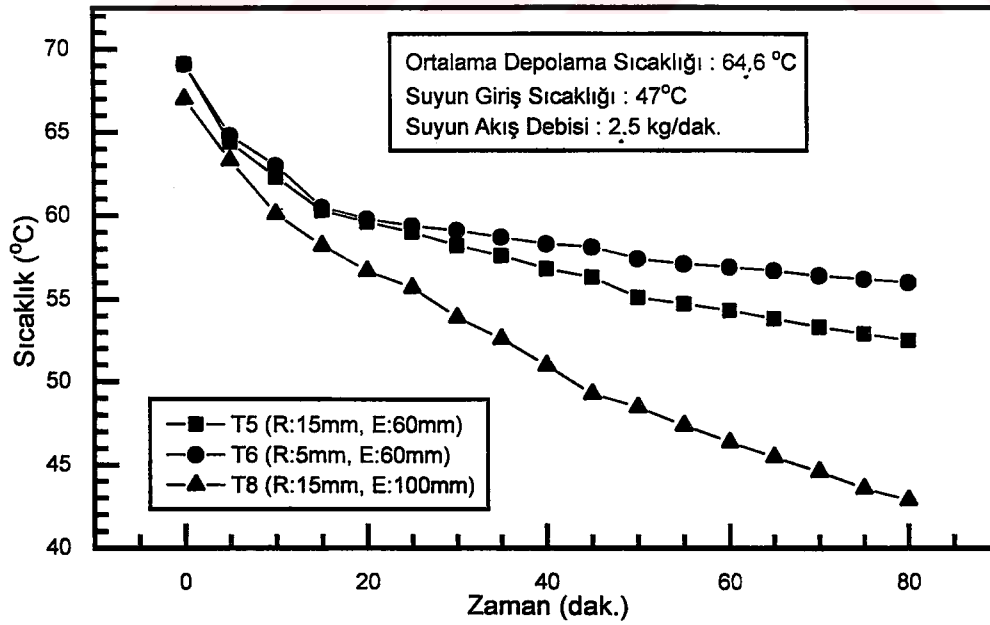
Şekil 4.105. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:38°C ve suyun akış debisi: 3kg/dak.)



Şekil 4.106. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve aksenal yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:38°C ve suyun akış debisi:6 kg/dak.)

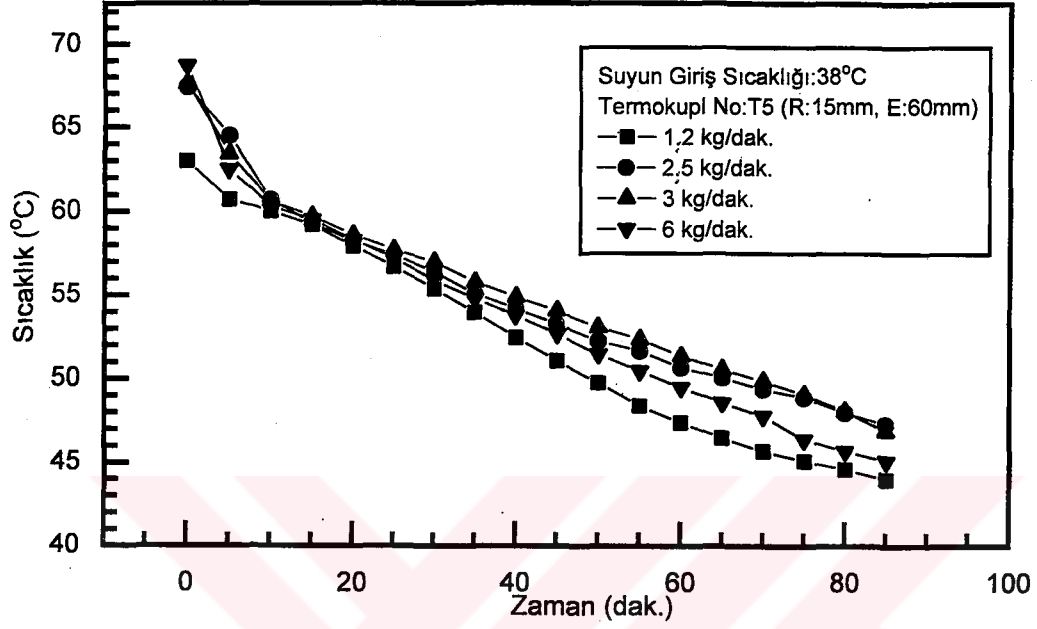


Şekil 4.107. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:42°C ve suyun akış debisi:2,5kg/dak.)

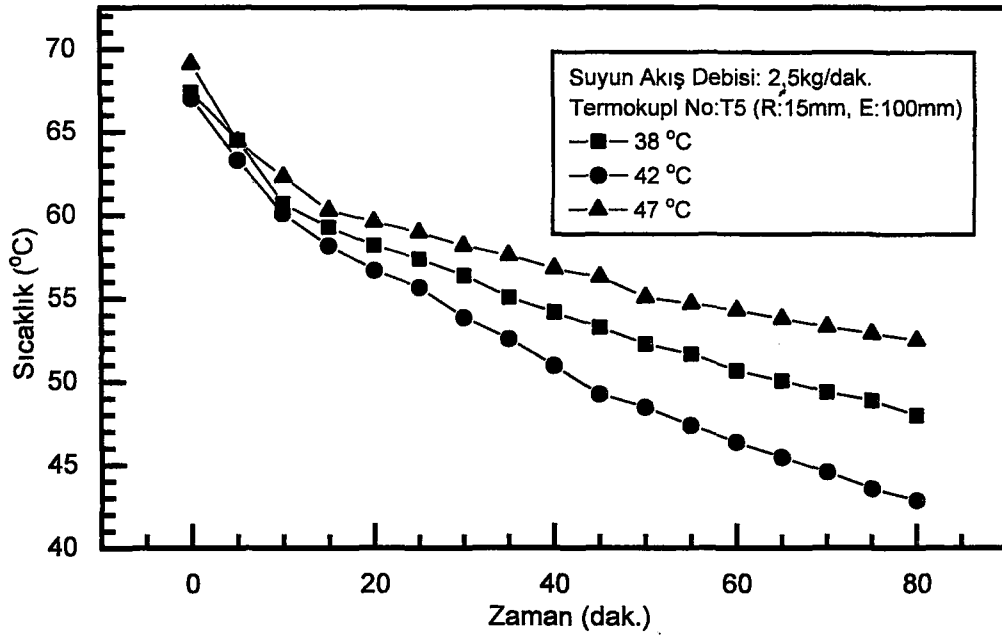


Şekil 4.108. Palmitik asit'in katılaşma periyoduna ait farklı radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili (suyun giriş sıcaklığı:47°C ve suyun akış debisi:2,5 kg/dak.)

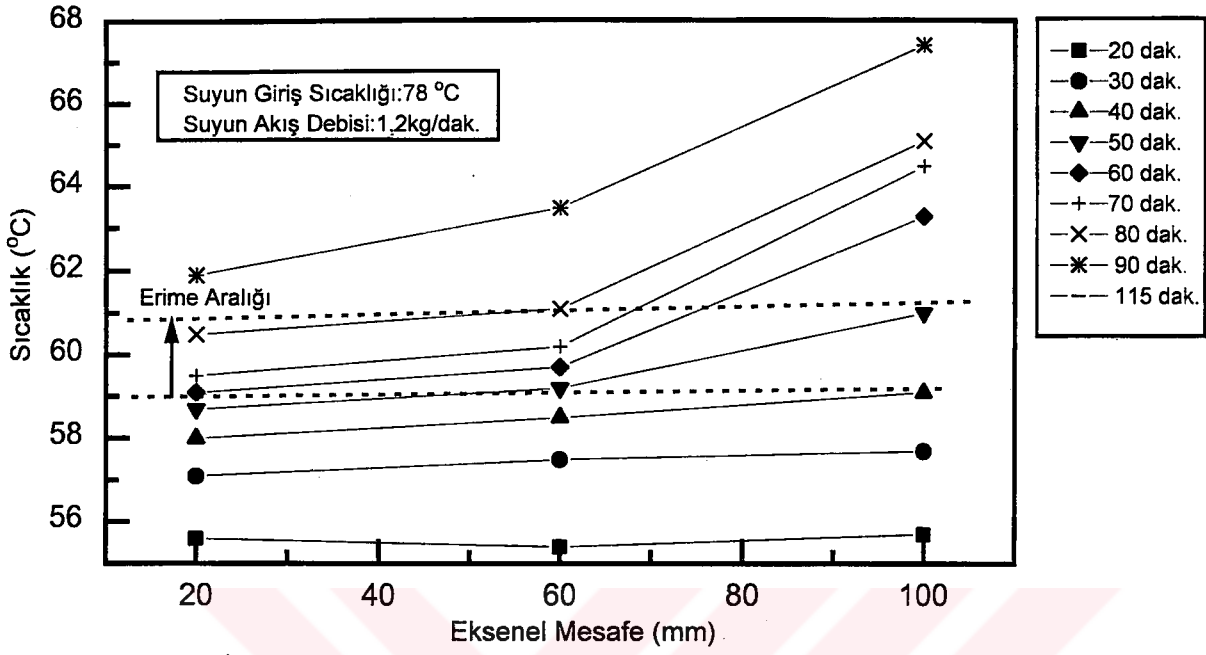




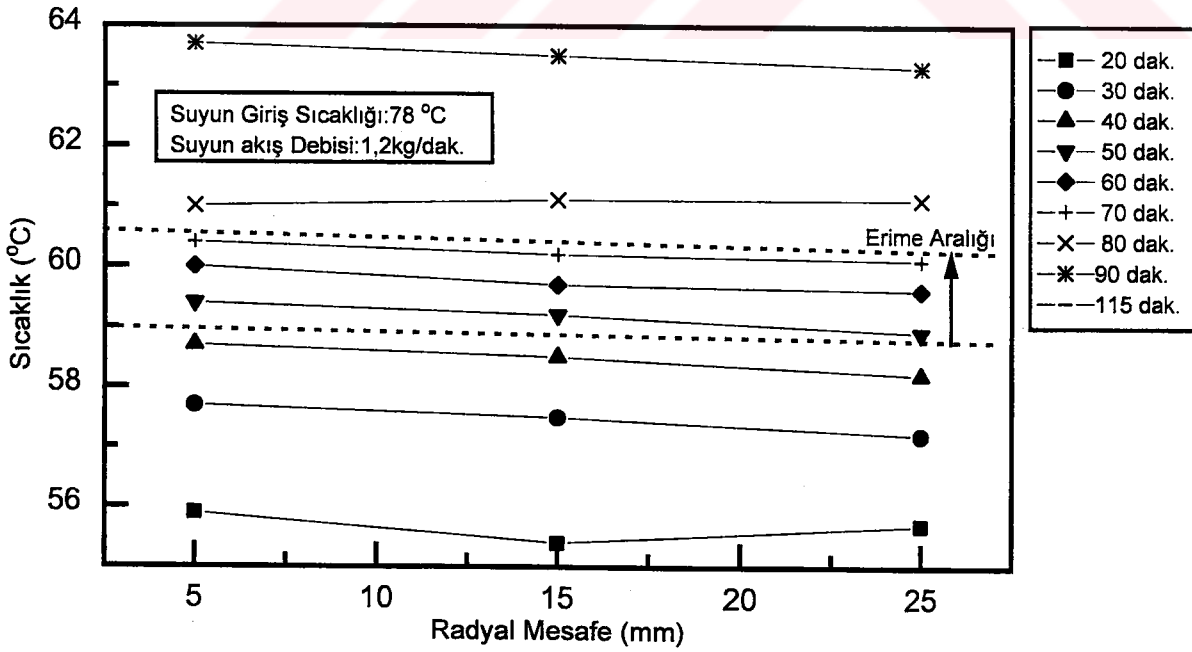
Şekil 4.109. Palmitik asit'in farklı su akışdebilerdeki katılaşma profili



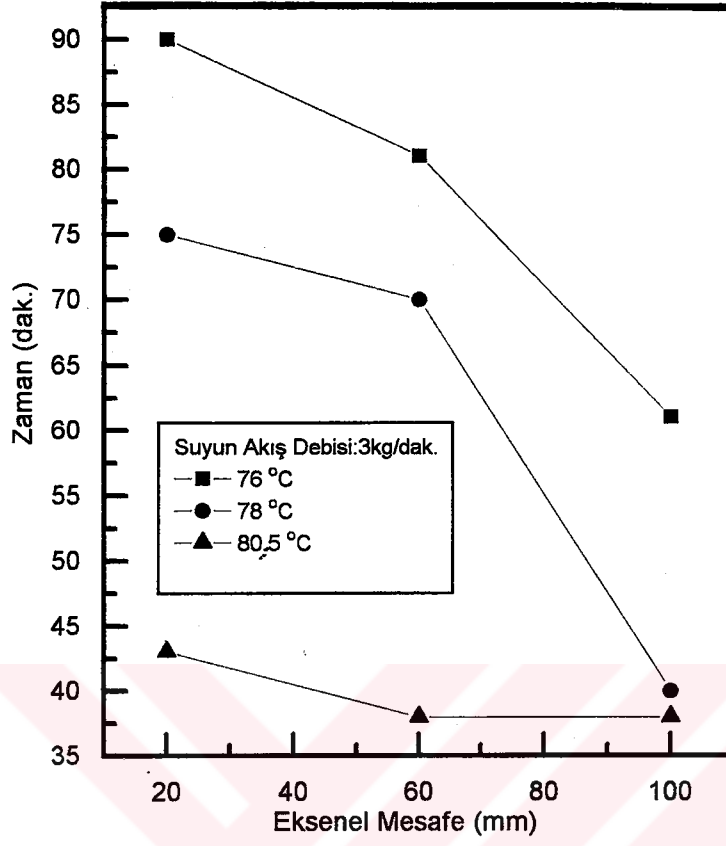
Şekil 4.110. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki katılaşma profili



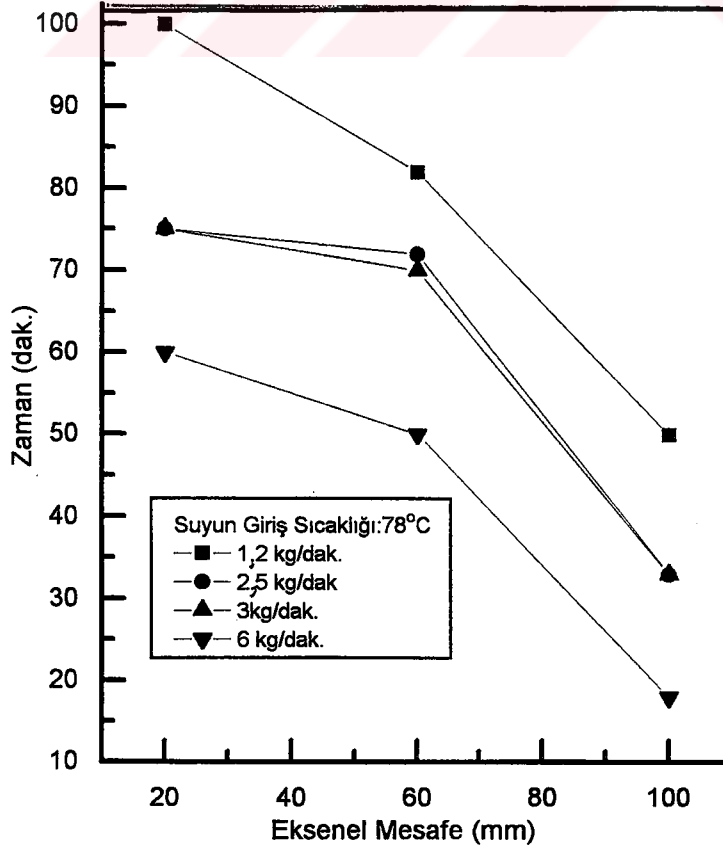
Şekil 4.111. Palmitik asit'in erime periyoduna ait farklı sürelerdeki ve radyal yöndeki sıcaklık profili



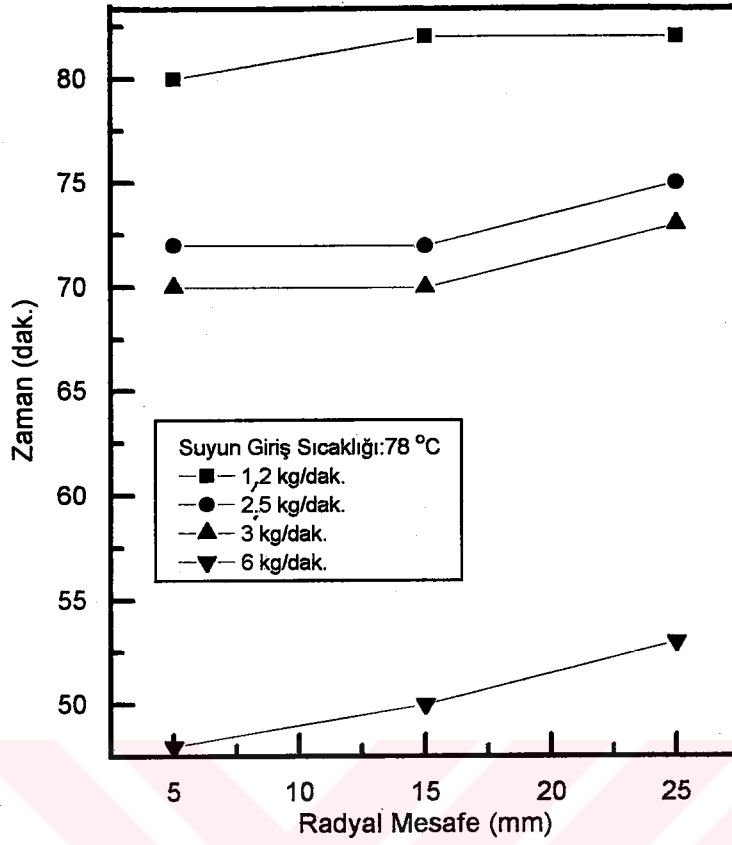
Şekil 4.112. Palmitik asit'in erime periyoduna ait farklı sürelerdeki ve radyal yöndeki sıcaklık profili



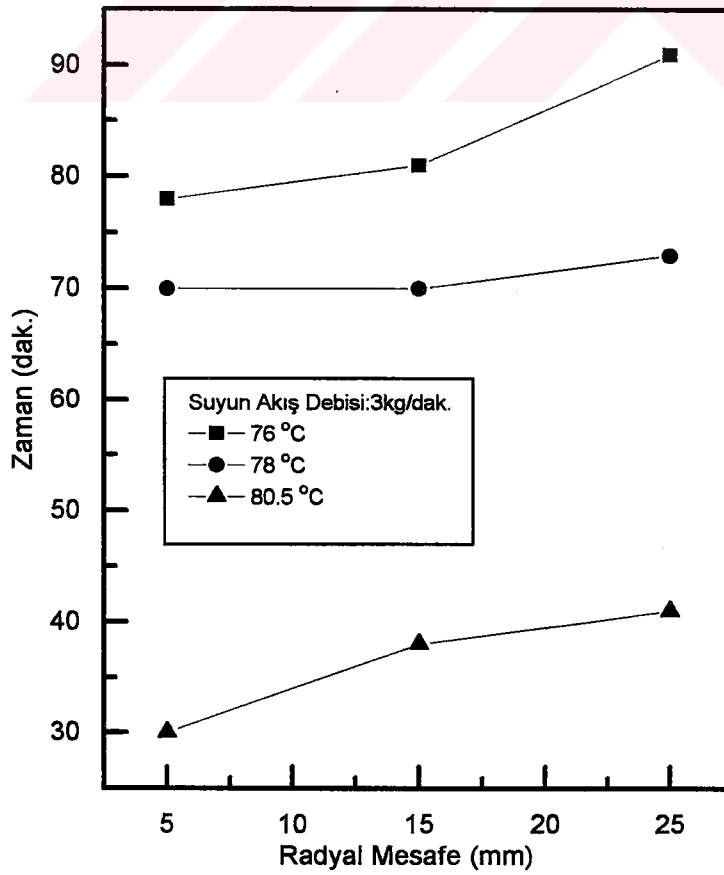
Şekil 4.113. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki ve eksenel yöndeki erime süreleri



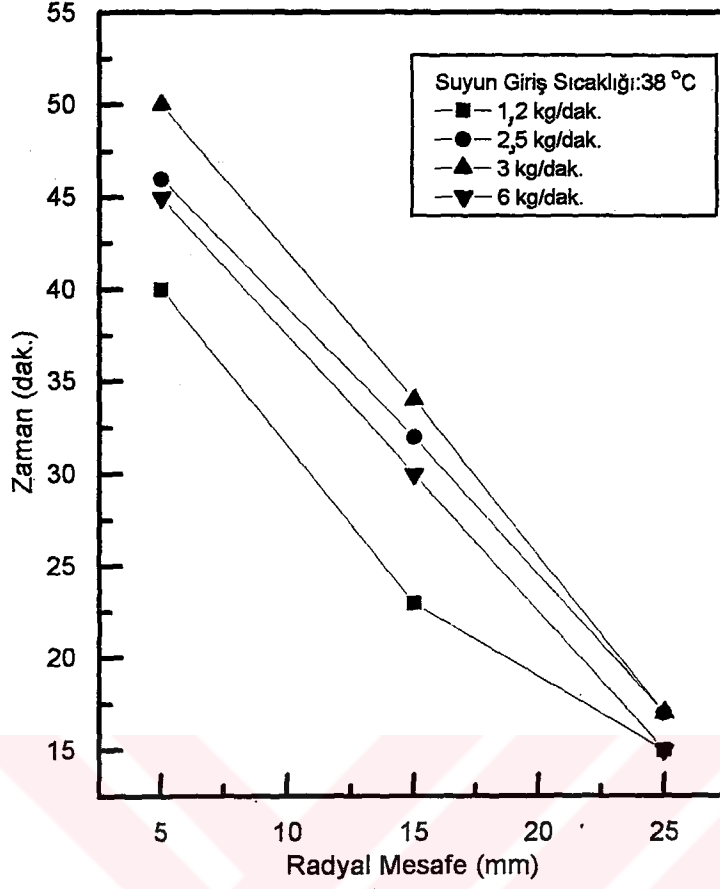
Şekil 4.114. Palmitik asit'in farklı su akış debilerdeki ve eksenel yöndeki erime süreleri



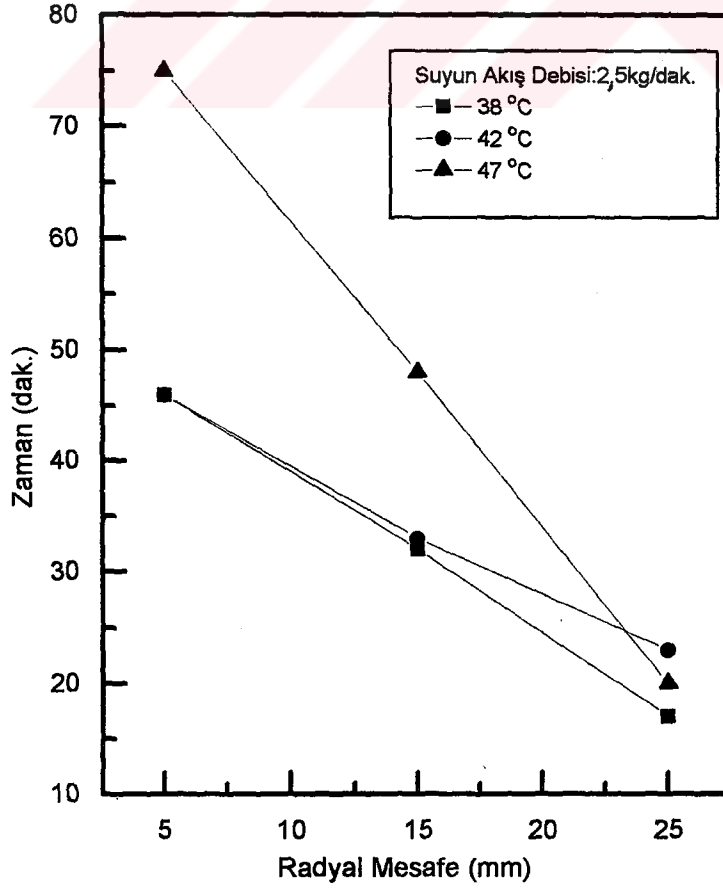
Şekil 4.115. Palmitik asit'in farklı su akış debilerdeki ve radyal yöndeki erime süreleri



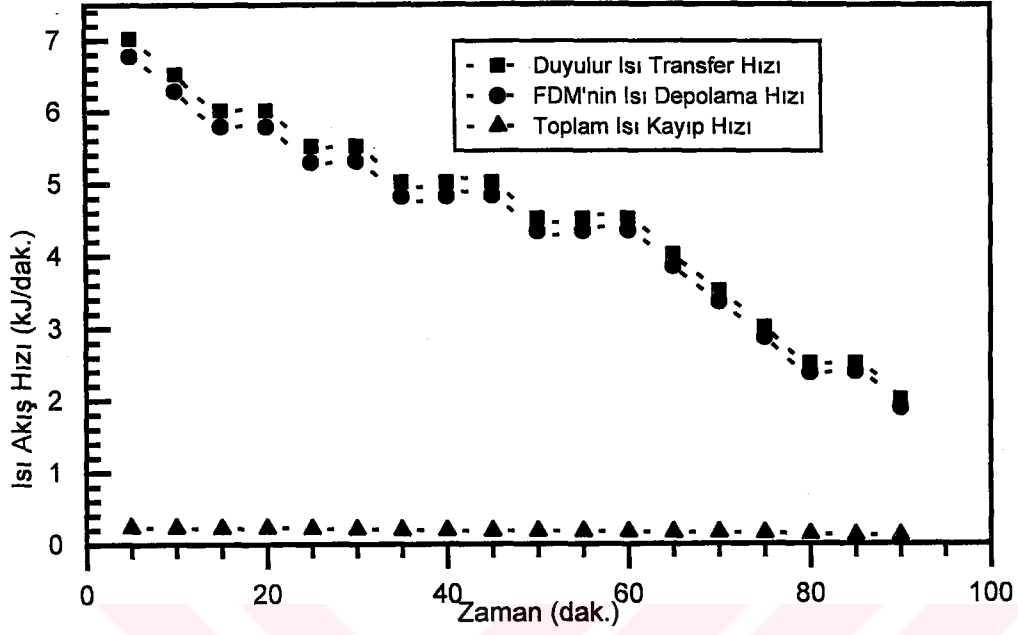
Şekil 4.116. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki ve radyal yöndeki erime süreleri



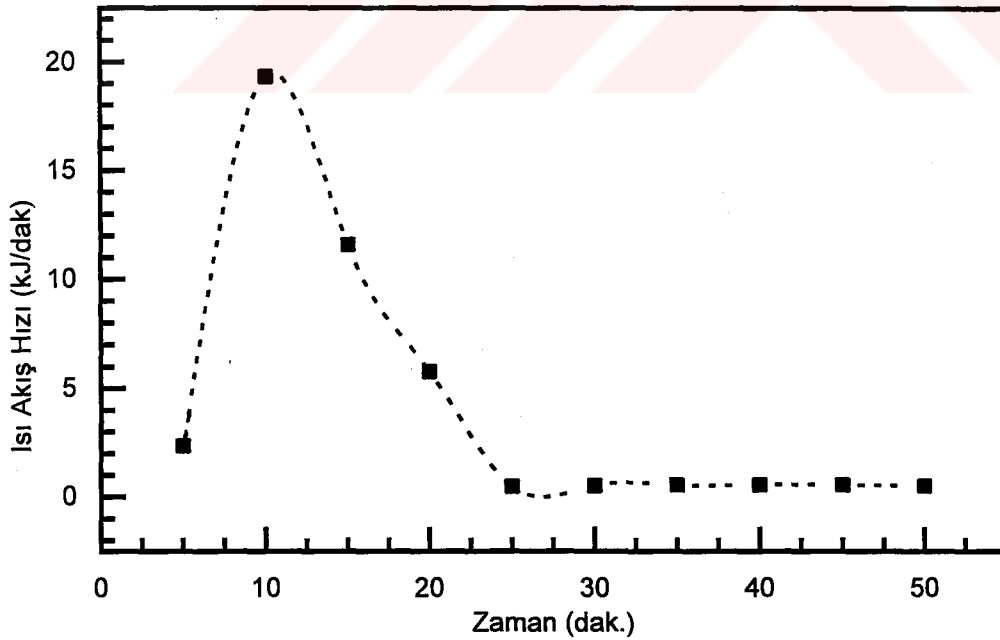
Şekil 4.117. Palmitik asit'in farklı su akış debilerdeki ve radyal yöndeki katılaşma süreleri



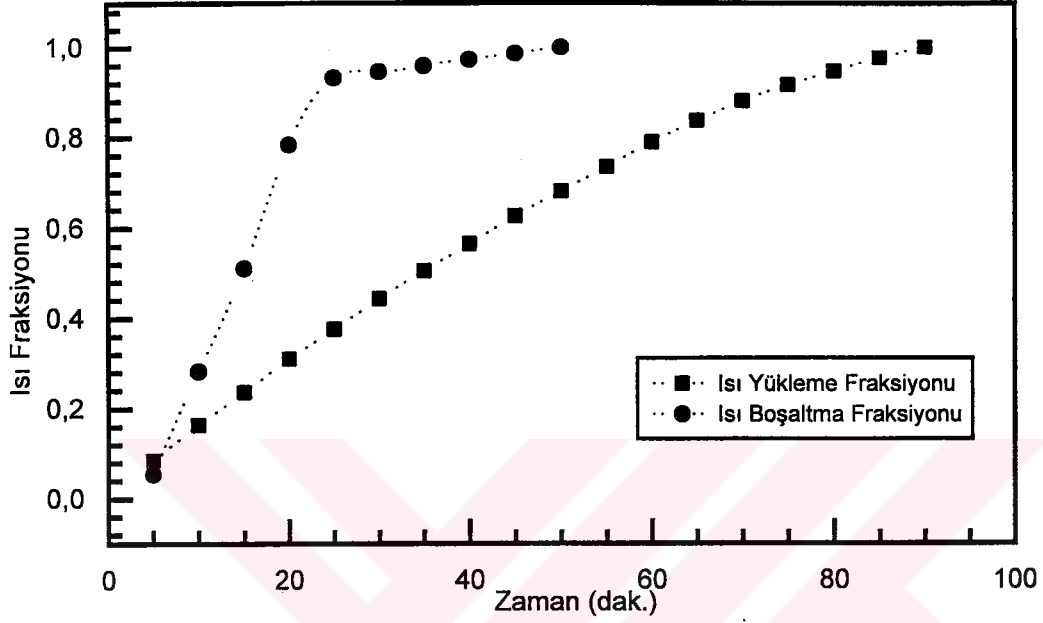
Şekil 4.118. Palmitik asit'in farklı su giriş sıcaklıklarındaki ve radyal yöndeki katılaşma süreleri



Şekil 4.119. Palmitik asit'in erime periyodu süresince gerçekleşen ısı akış hızları (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)

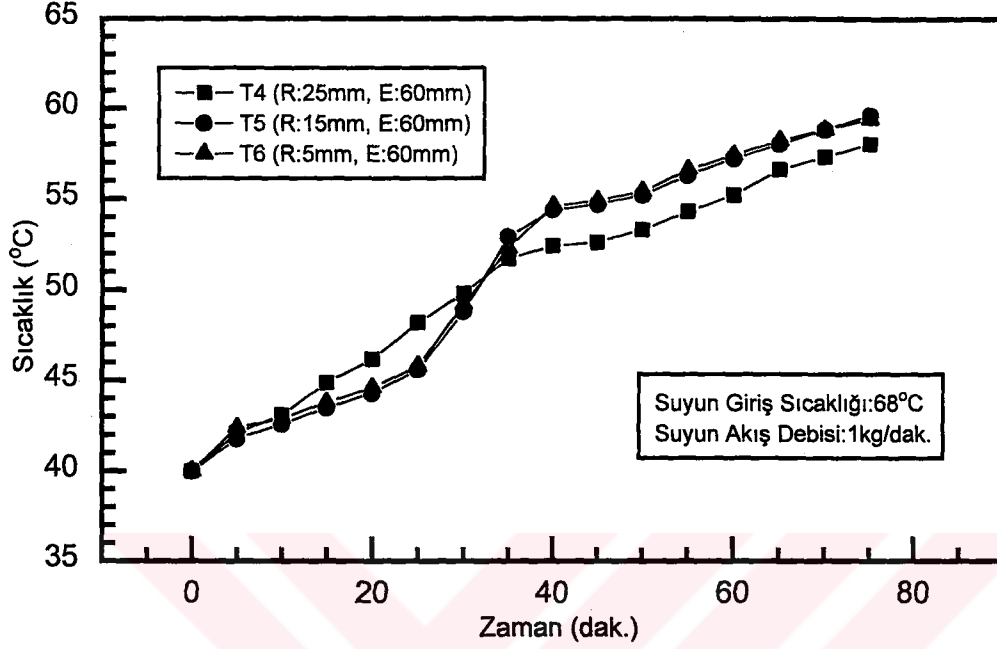


Şekil 4.120. Palmitik asit'in katılaşması süresince FDM'den çekilen ısının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak.)

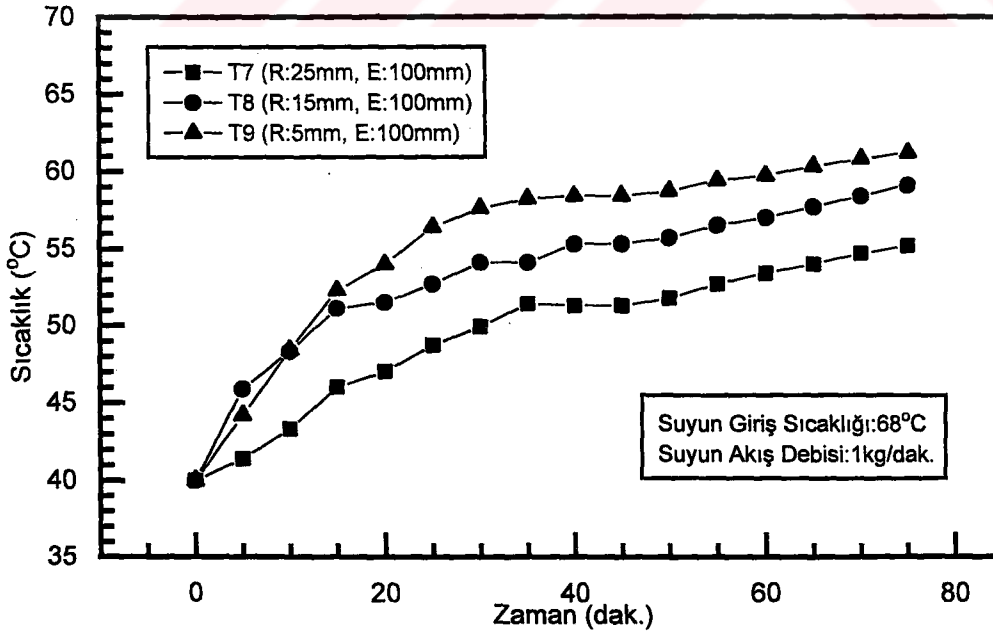


Şekil 4.121. Palmitik asit'in erime (ısı yükleme) ve katılaşma (ısı boşaltma) periyotlarına ait ısı fraksiyonlarının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı:  $78^{\circ}\text{C}/38^{\circ}\text{C}$  ve suyun akış debisi:  $1.2 \text{ kg/dak.}$ )

#### 4.1. Ötektik Karışım (% 65,7 Miristik Asit + % 34,3 Stearik Asit) İçin Faz Değişim Eğrileri ve Isı Transfer Bulguları

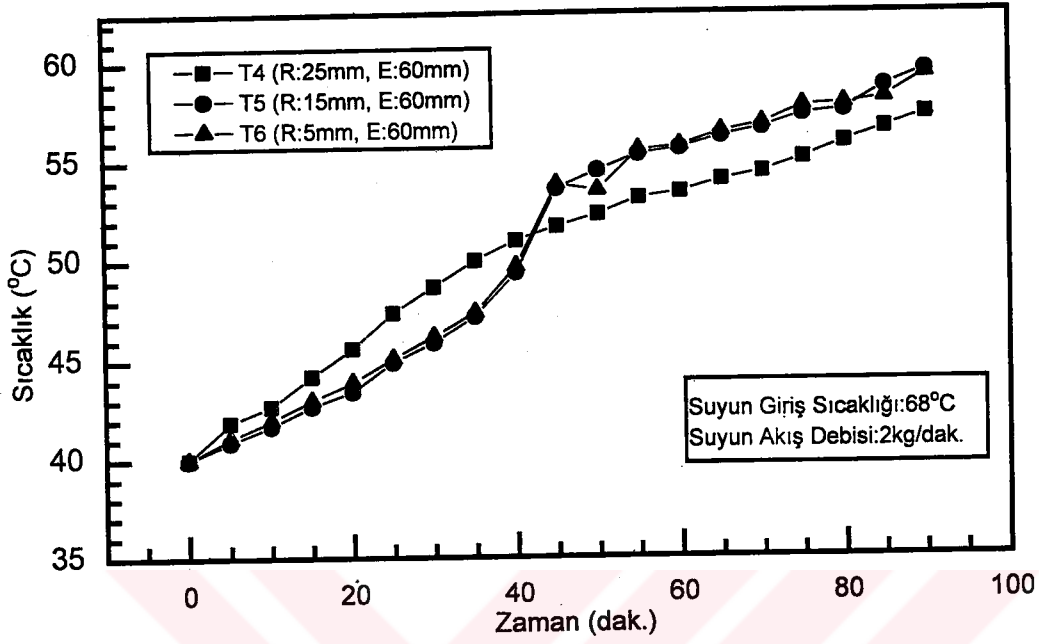


Şekil 4.122. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 1 kg/dak.)

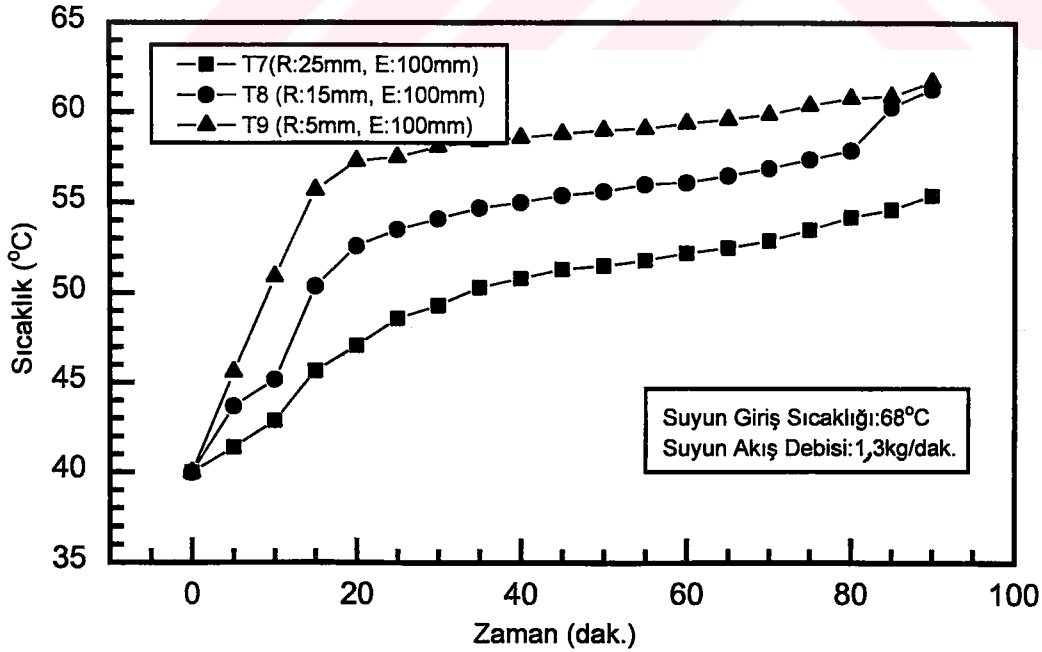


Şekil 4.123. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 1 kg/dak.)

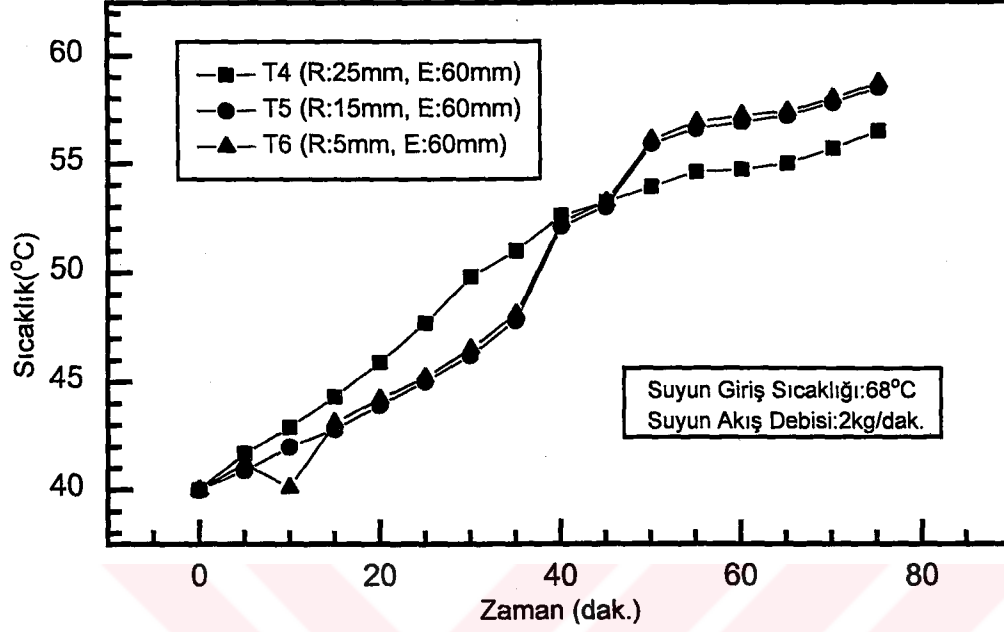




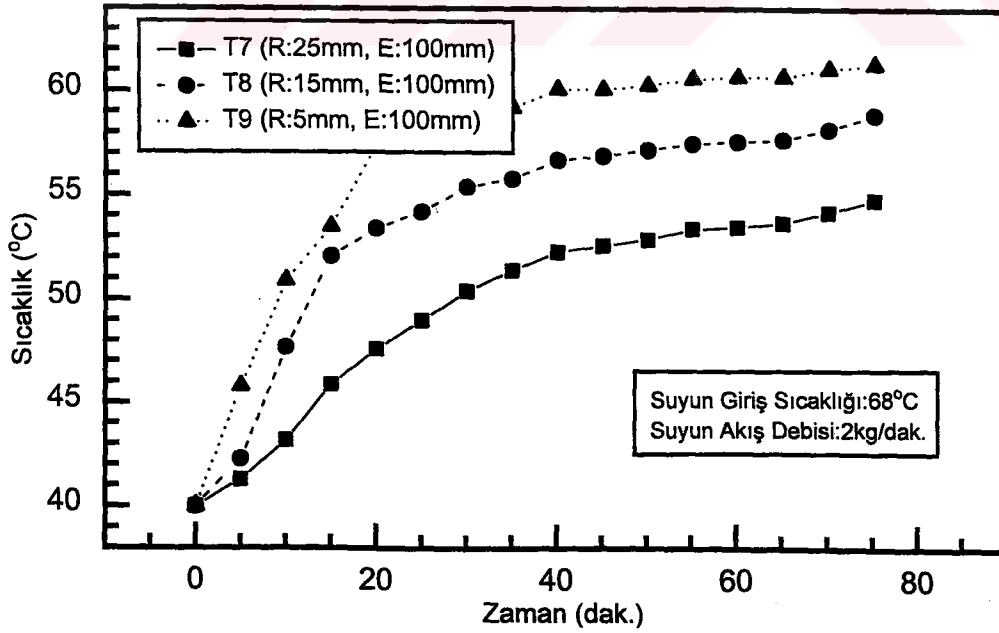
Şekil 4.124. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)



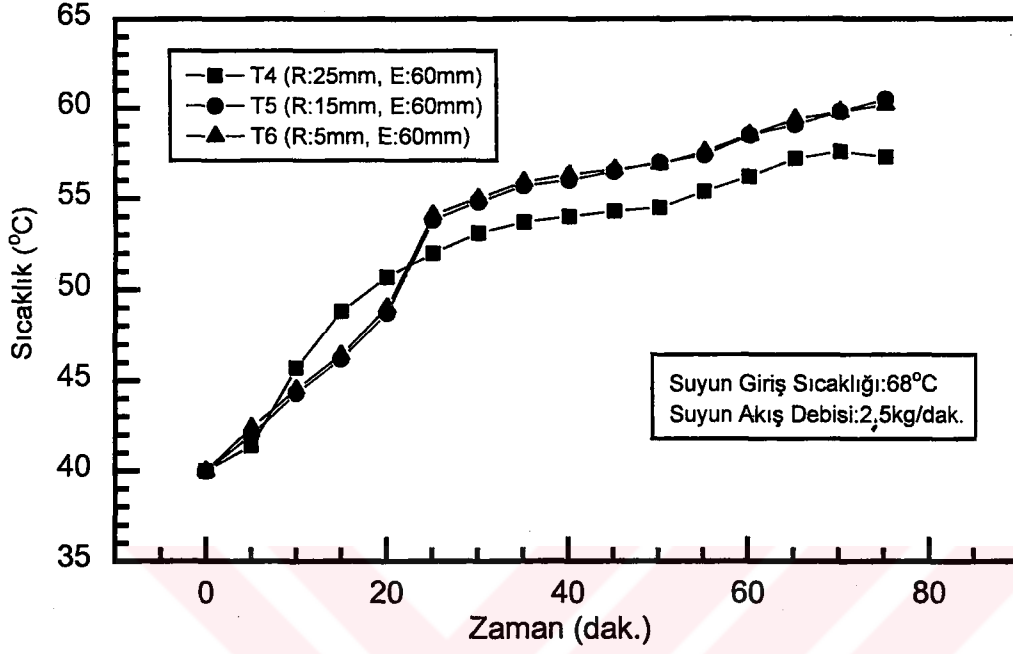
Şekil 4.125. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)



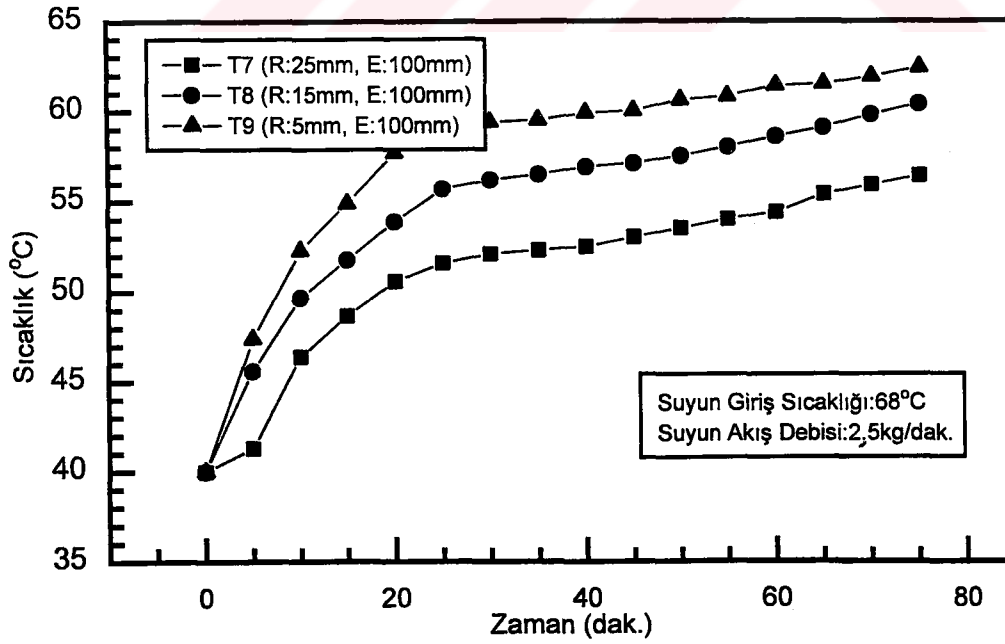
Şekil 4.126. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 2 kg/dak.)



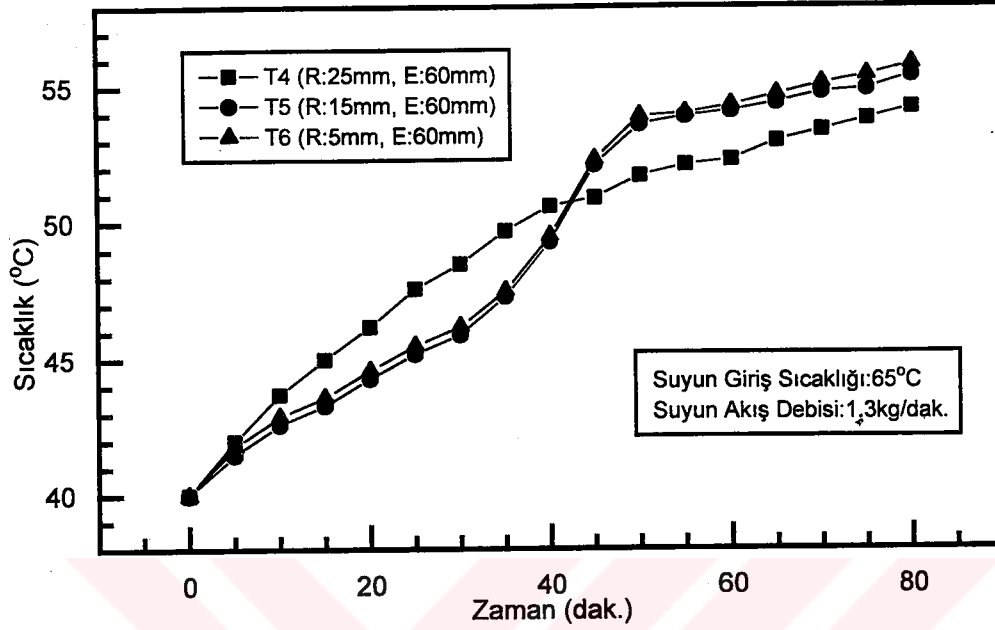
Şekil 4.127. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 2 kg/dak.)



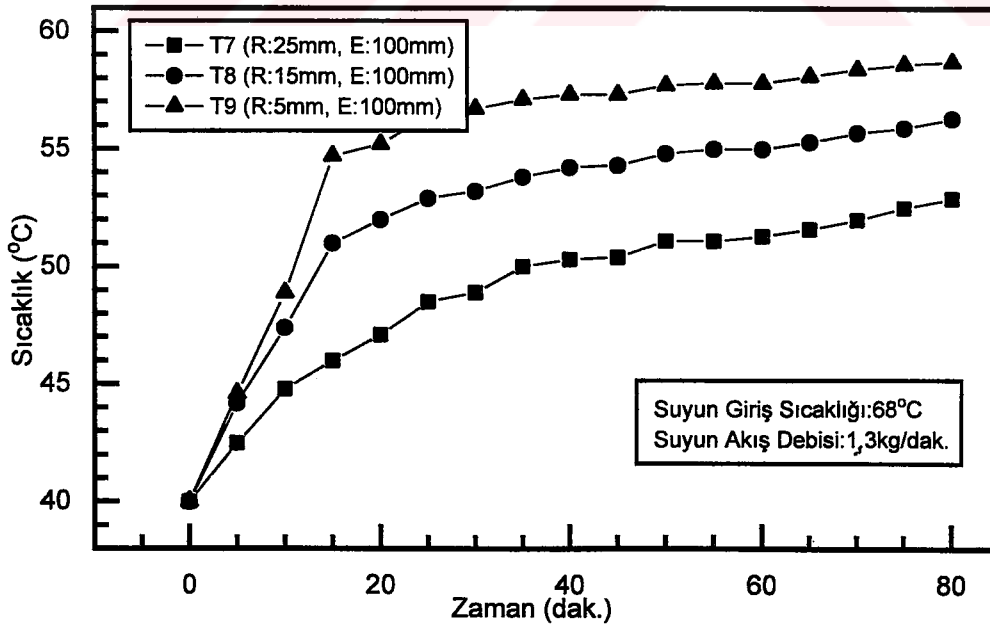
Şekil 4.128. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 68 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



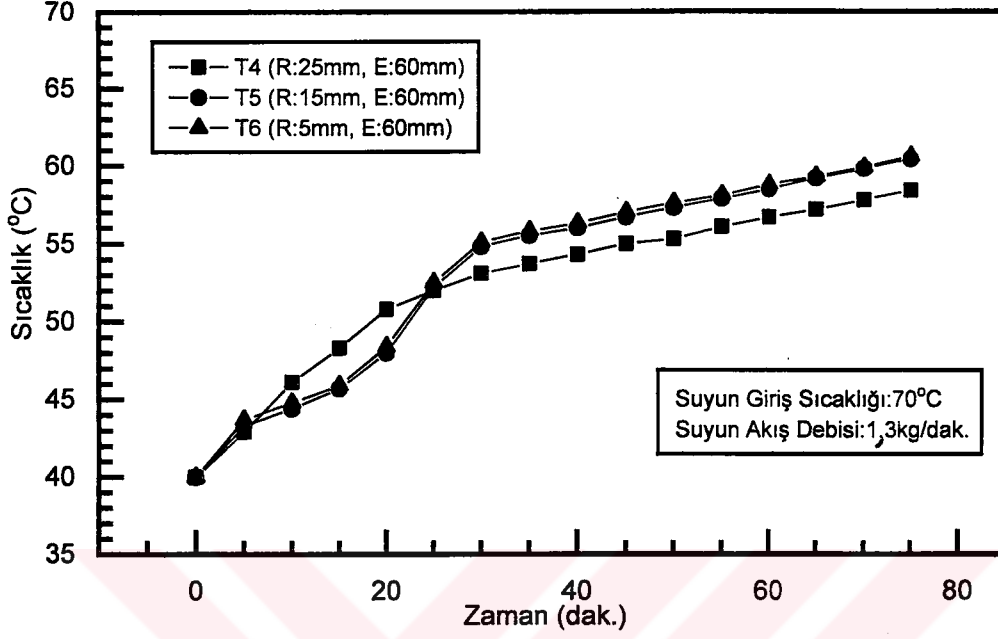
Şekil 4.1129. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak.)



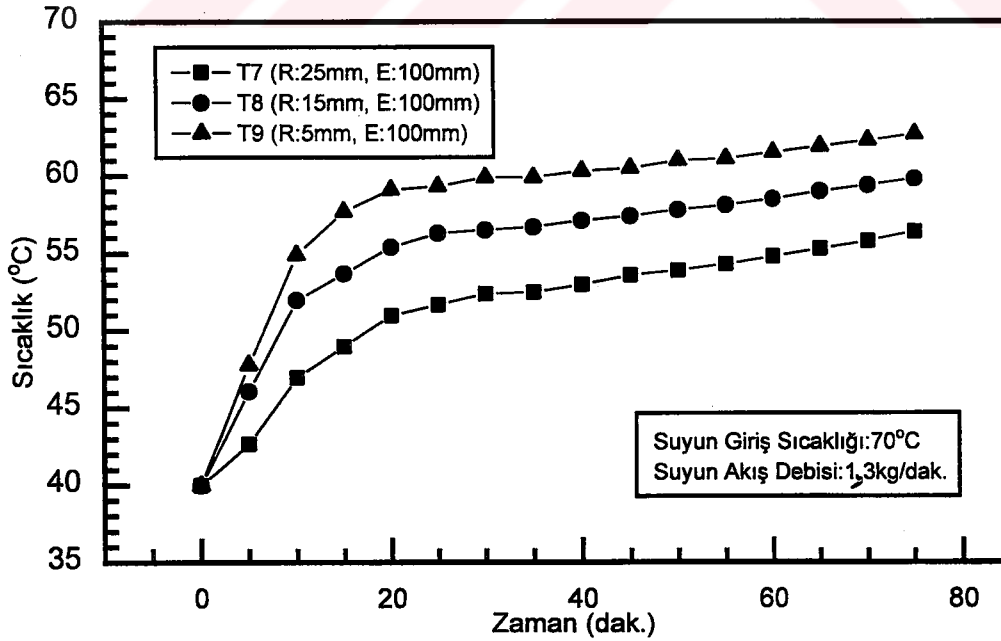
Şekil 4.130. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 65 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)



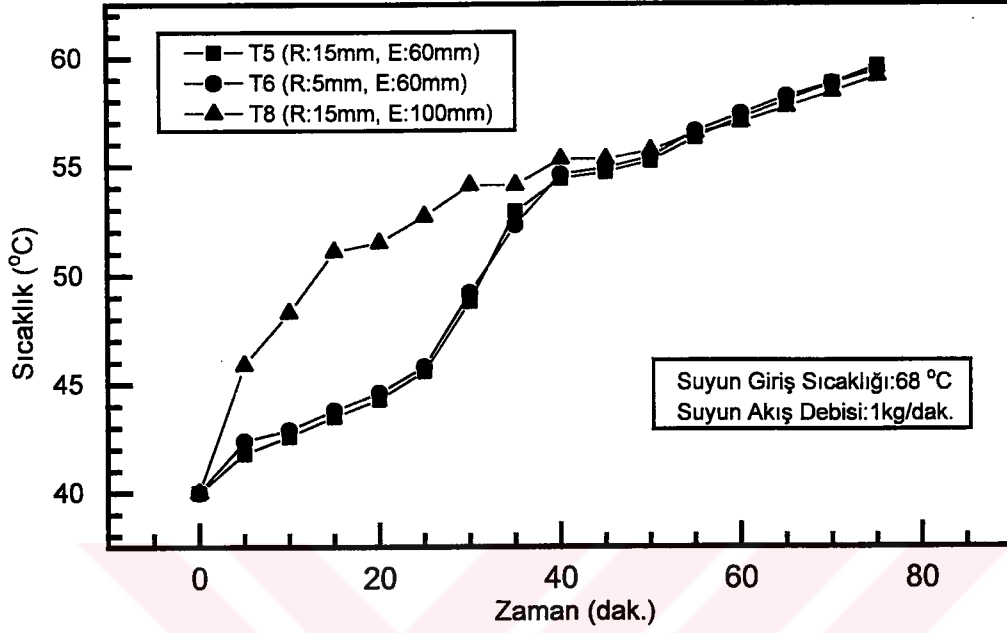
Şekil 4.131. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 65 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)



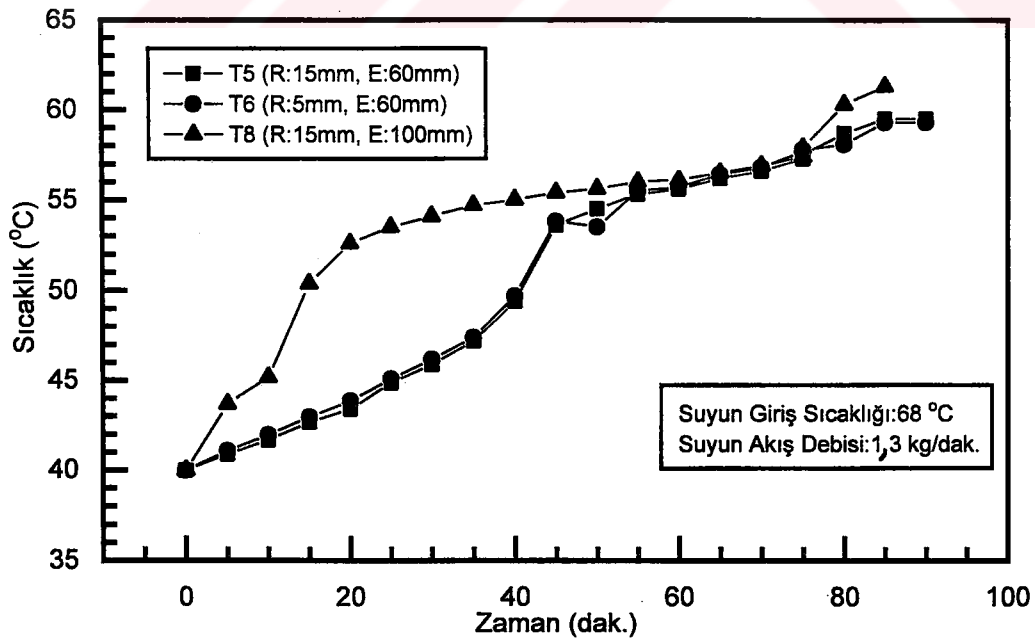
Şekil 4.132. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60mm, suyun giriş sıcaklığı: 70 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)



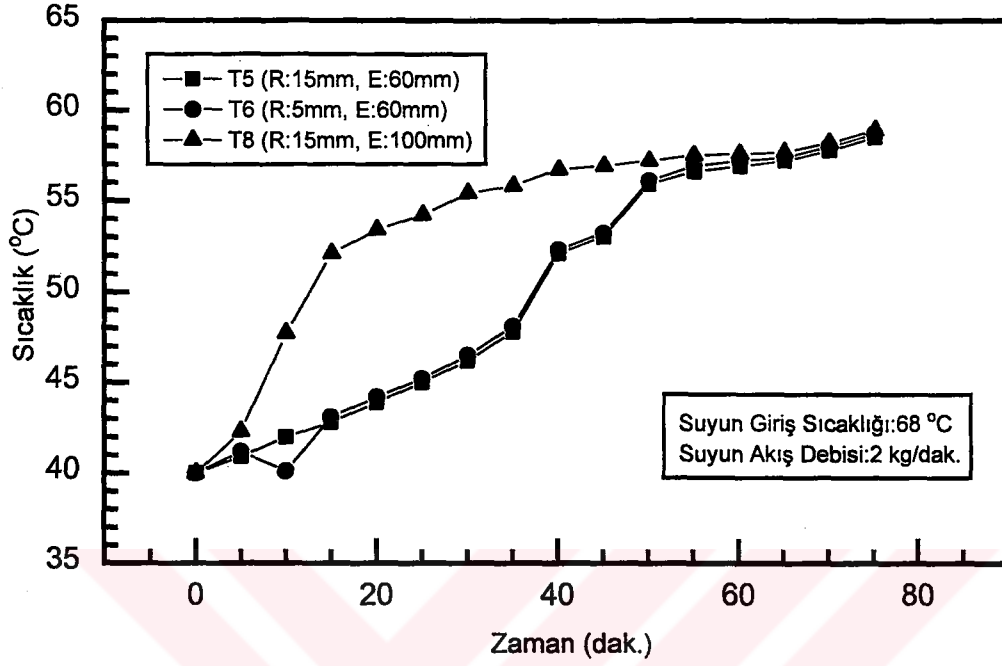
Şekil 4.133. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, suyun giriş sıcaklığı: 70 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)



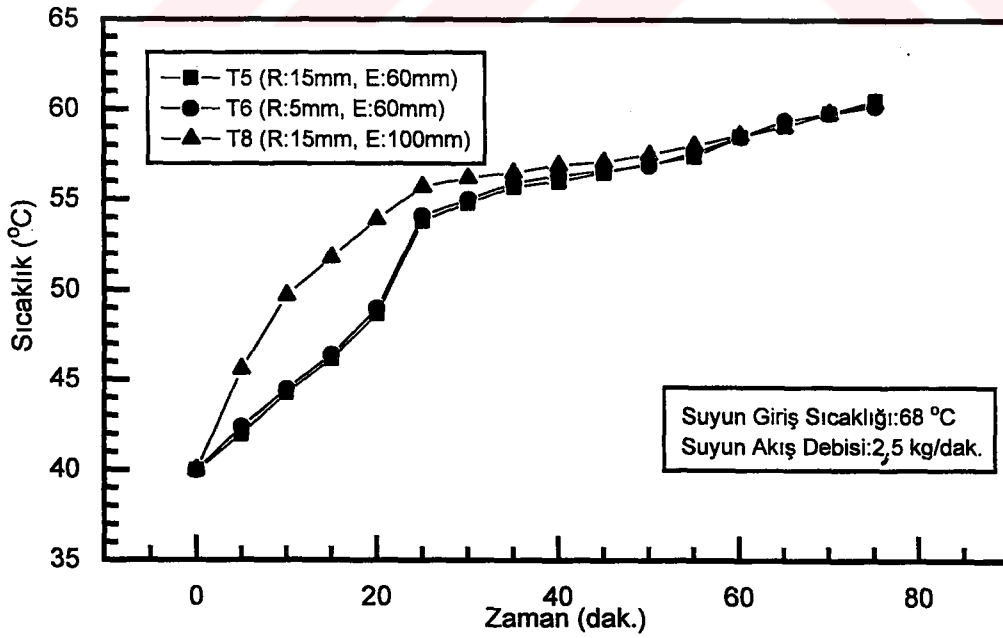
Şekil 4.134. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili



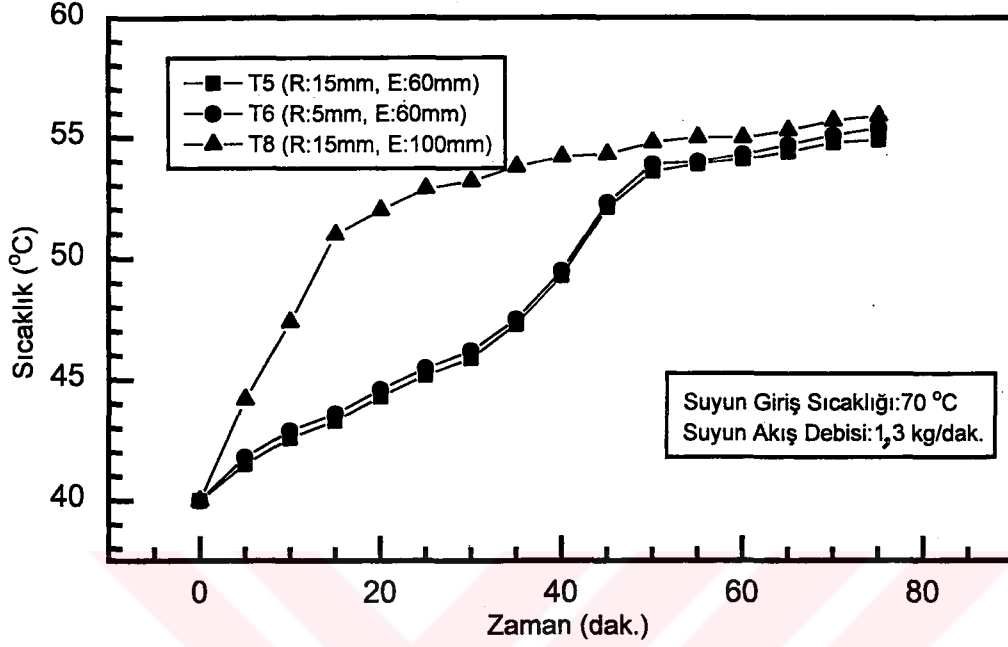
Şekil 4.135. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili



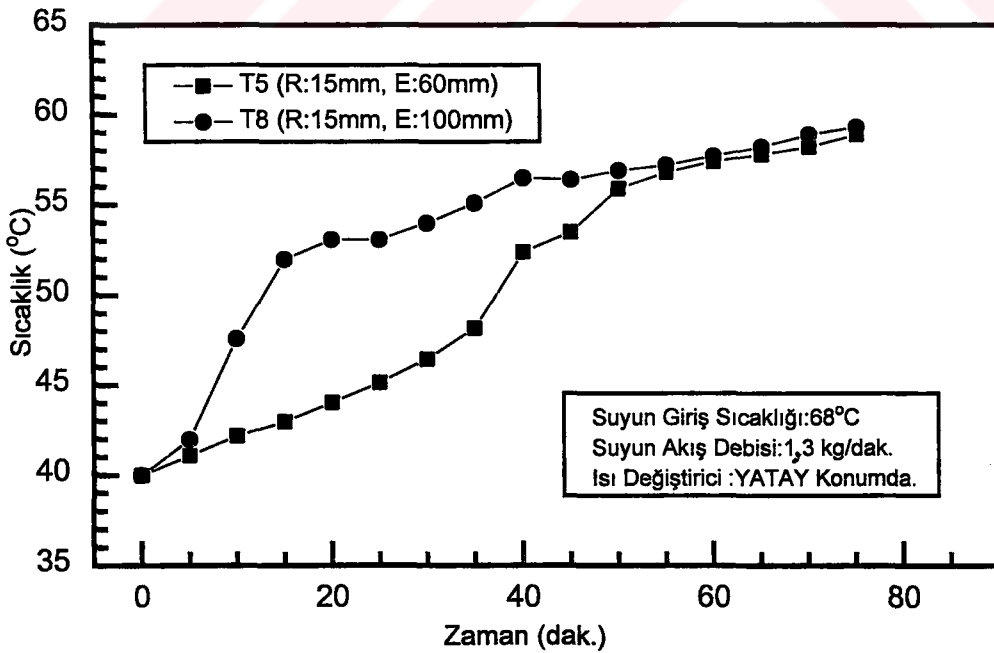
Şekil 4.136. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili



Şekil 4.137. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili

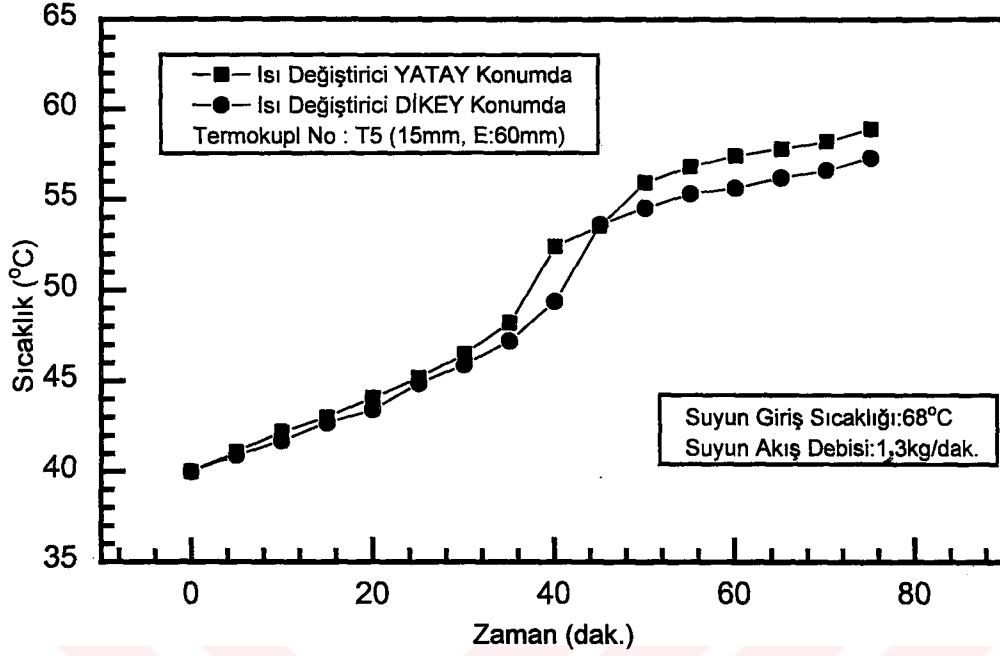


Şekil 4.138. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili

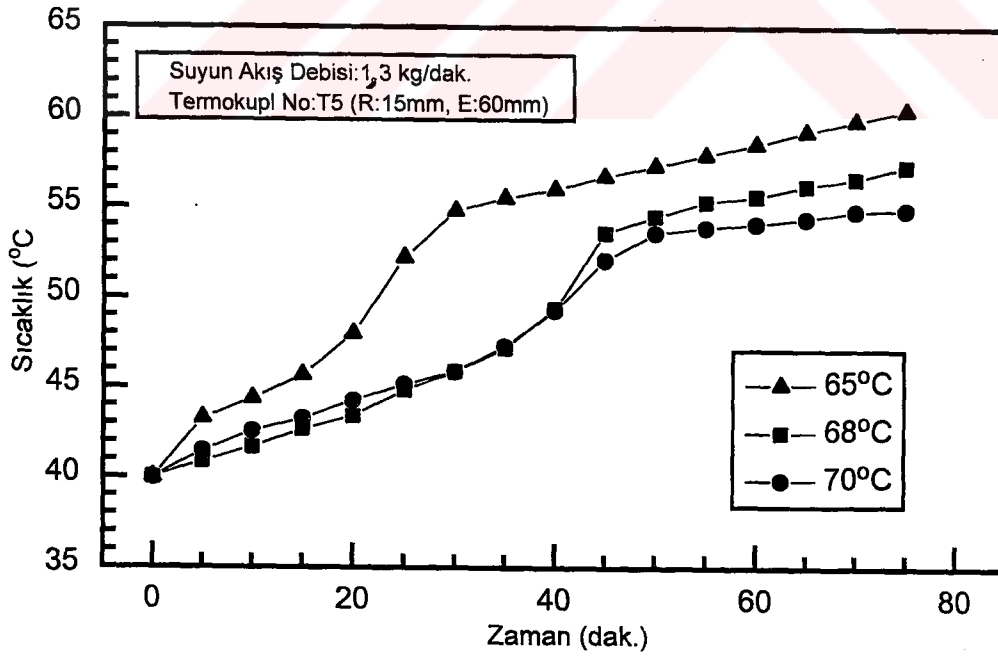


Şekil 4.139. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (ısı değiştirici YATAY konumunda)

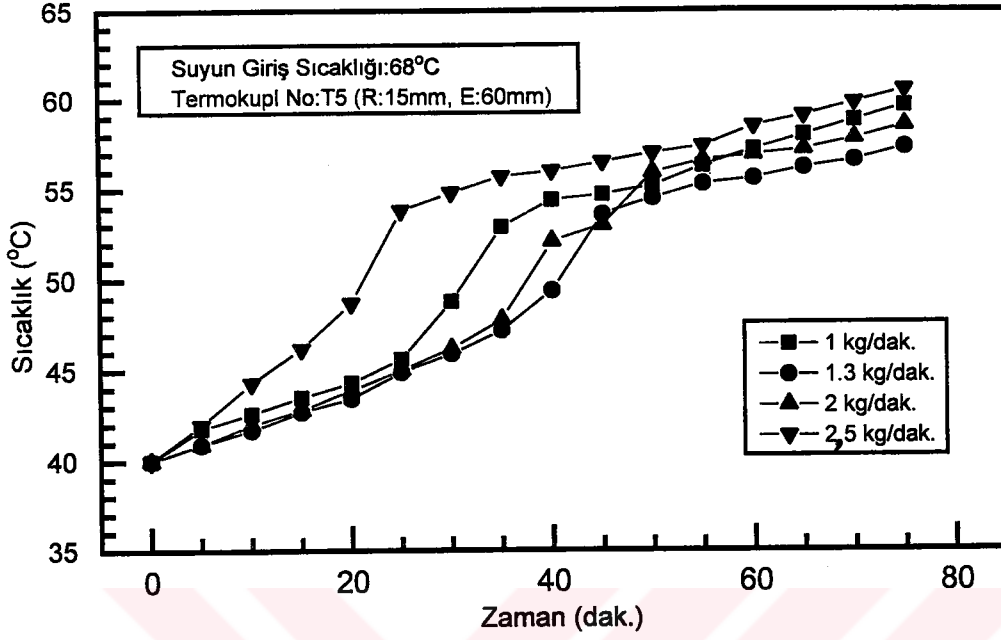




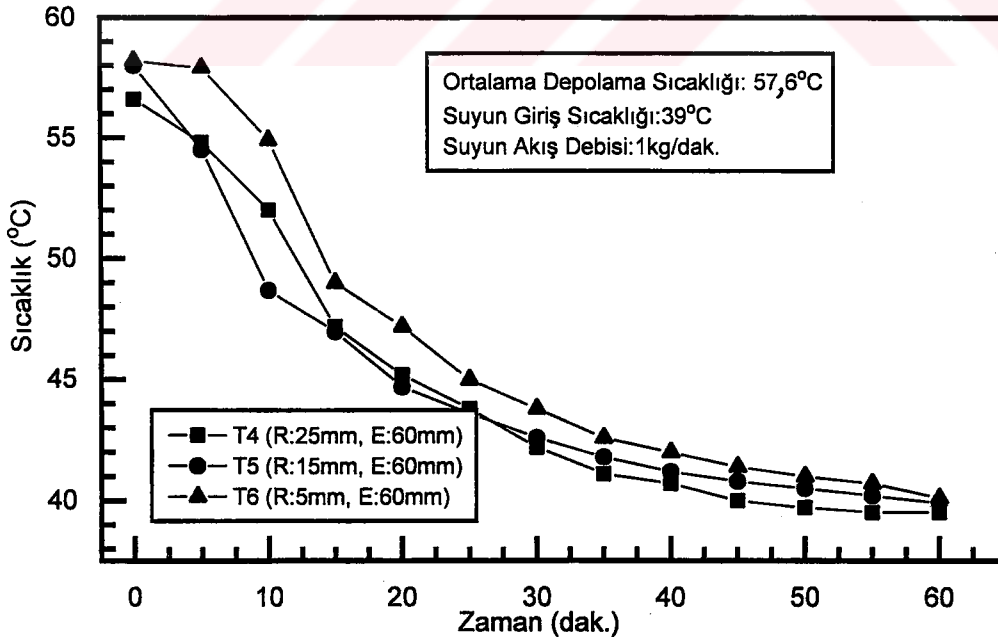
Şekil 4.140. Miristik asit (%65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının erime periyoduna ait farklı ısı değiştirici konumlarındaki sıcaklık profili



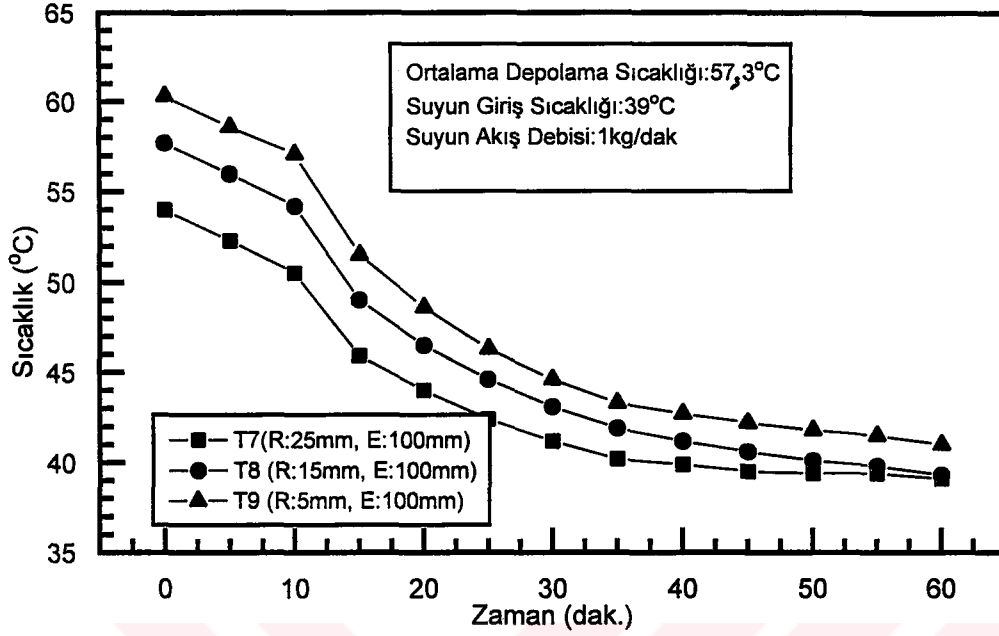
Şekil 4.141. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (%34,3) ötektik karışımının farklı su giriş sıcaklıklarındaki erime profili



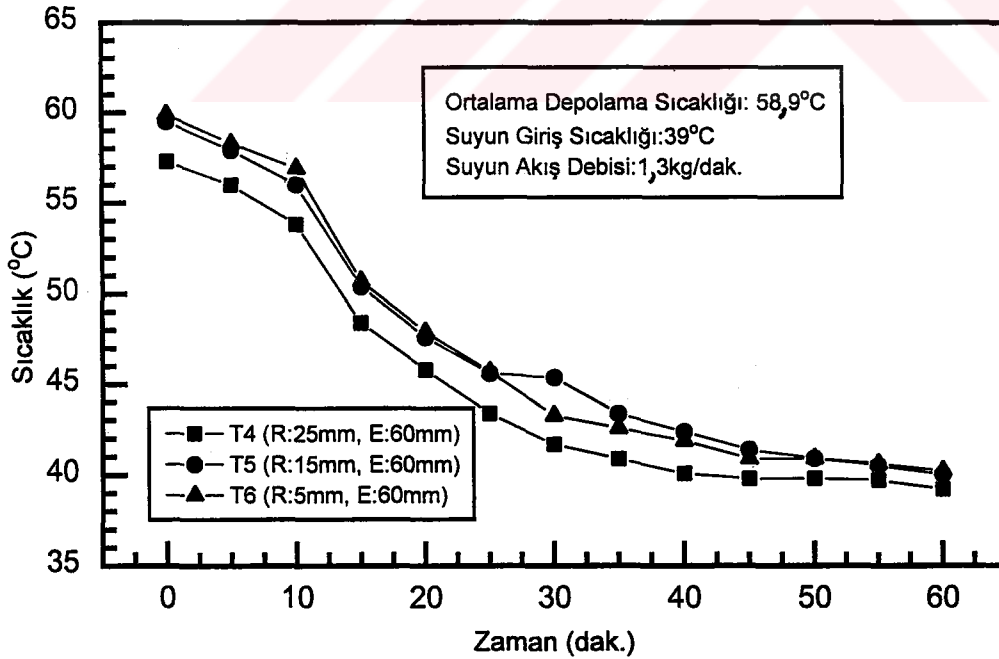
Şekil 4.142. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerindeki erime profili



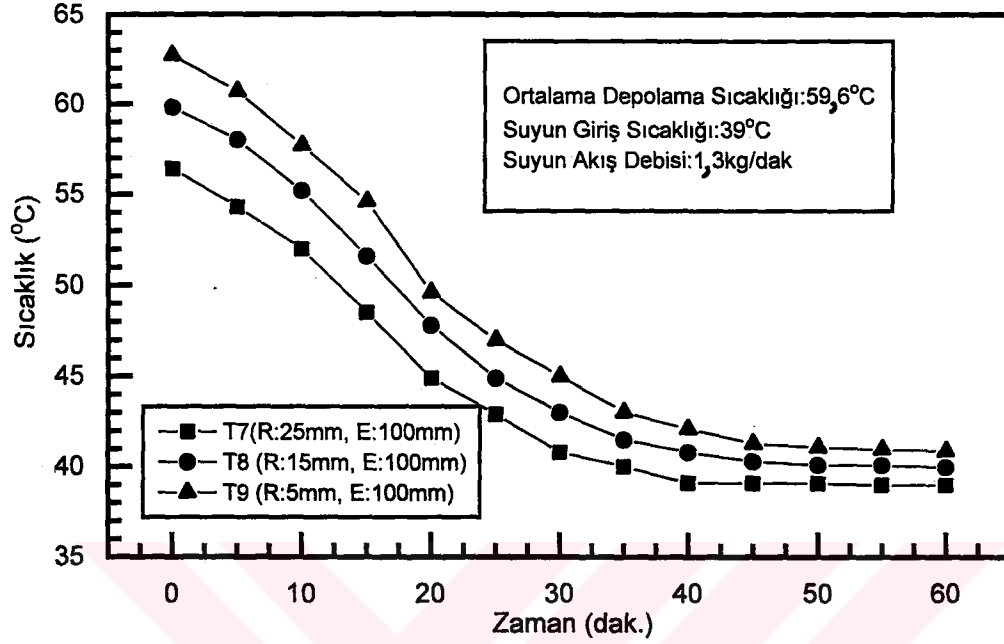
Şekil 4.143. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili ( Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı: 57,6°C ve suyun akış debisi: 1kg/dak.)



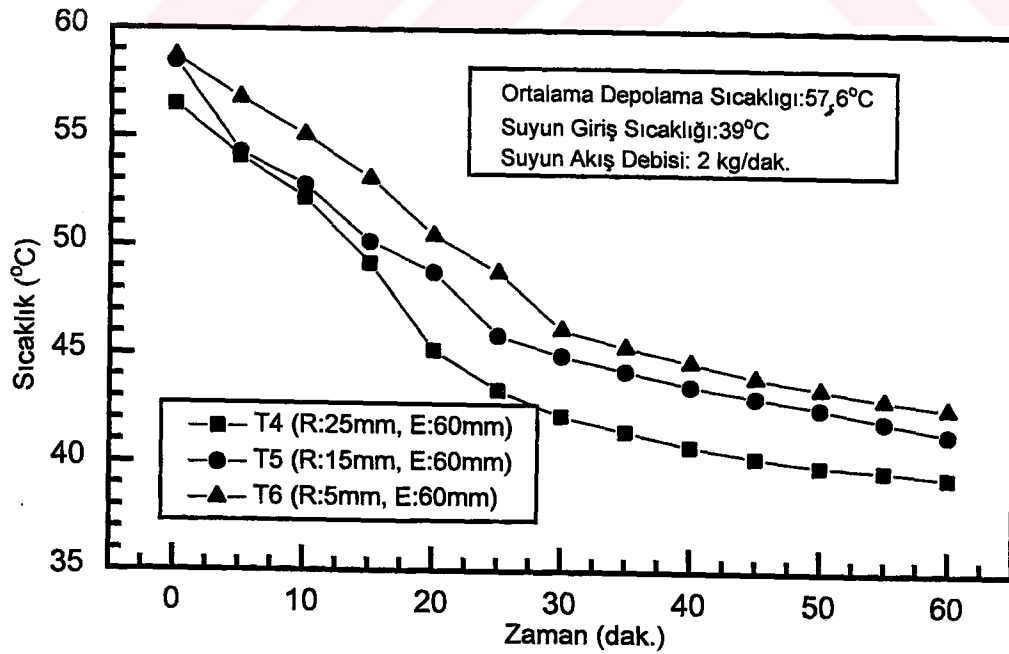
Şekil 4.144. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı:57,3 °C ve suyun akış debisi:1kg/dak.)



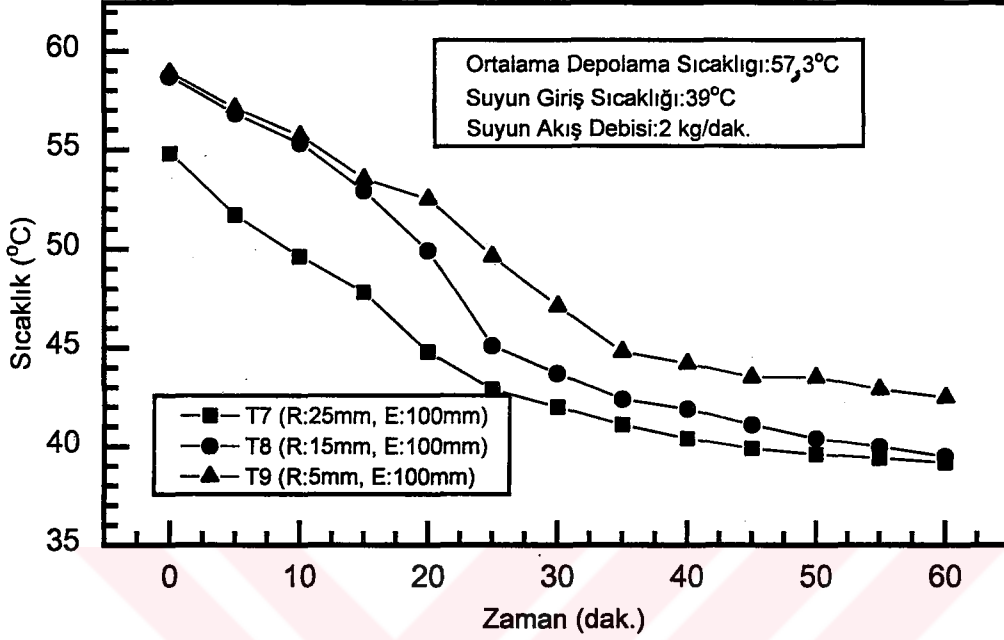
Şekil 4.145. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:58,9°C ve suyun akış debisi:1,3kg/dak.)



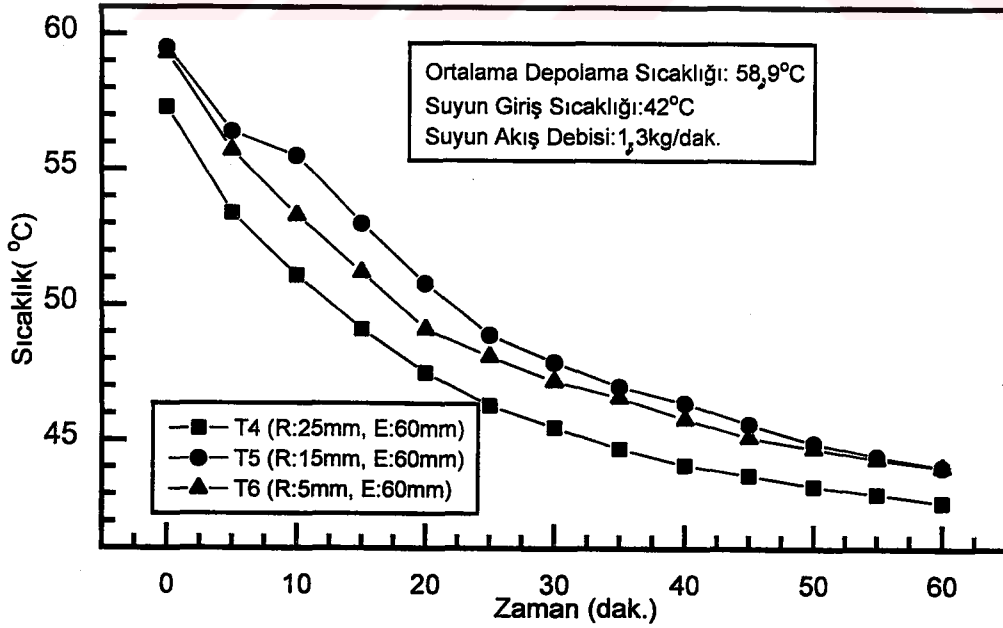
Şekil 4.146. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı:59,6°C ve suyun akış debisi:1,3kg/dak.)



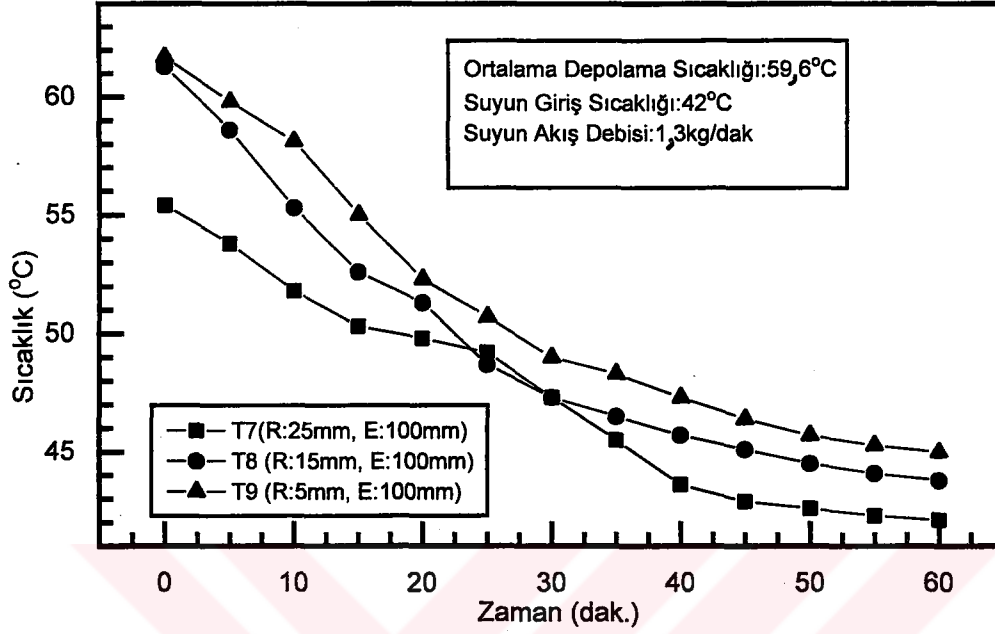
Şekil 4.147. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:57,6°C ve suyun akış debisi: 2kg/dak.)



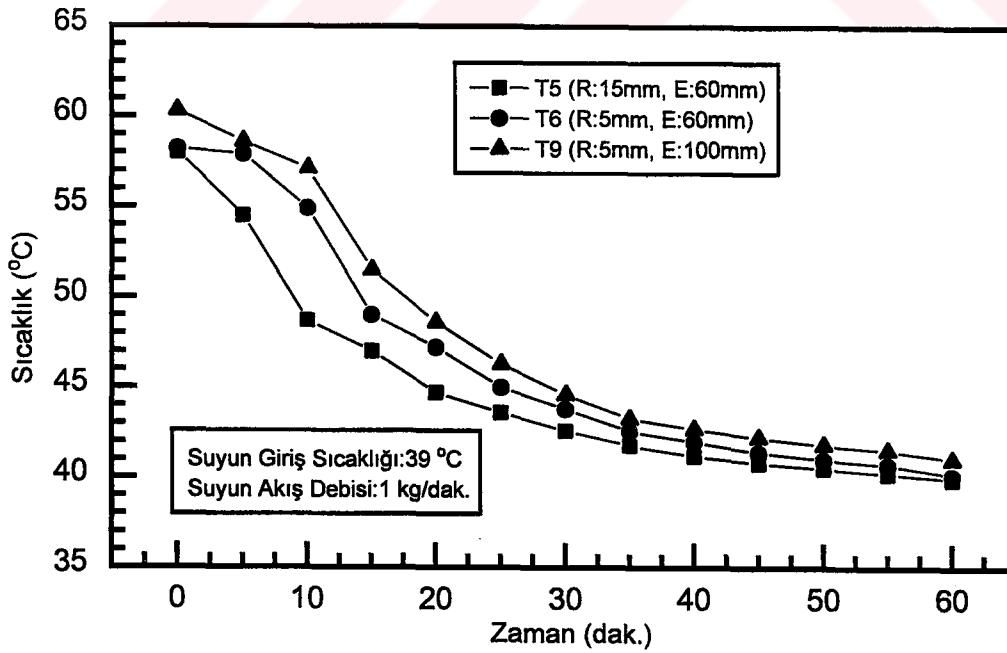
Şekil 4.148. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma Periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe:100mm, ortalama depolama sıcaklığı:57,3 °C ve suyun akış debisi:2kg/dak.)



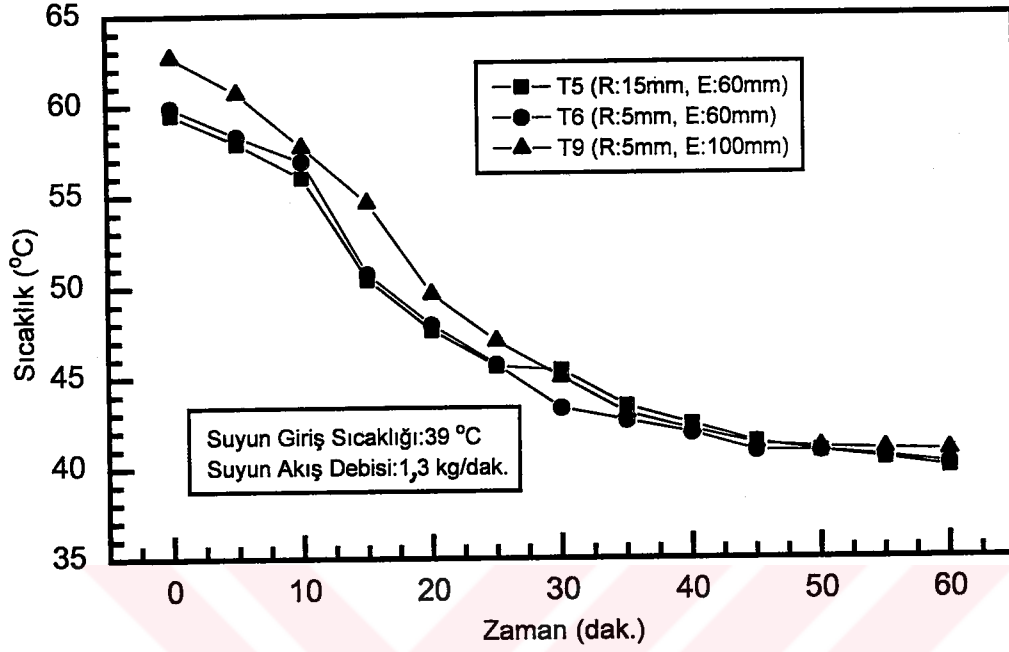
Şekil 4.149. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma Periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 60 mm, ortalama depolama sıcaklığı:58,9 °C, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi:1.3kg/dak.)



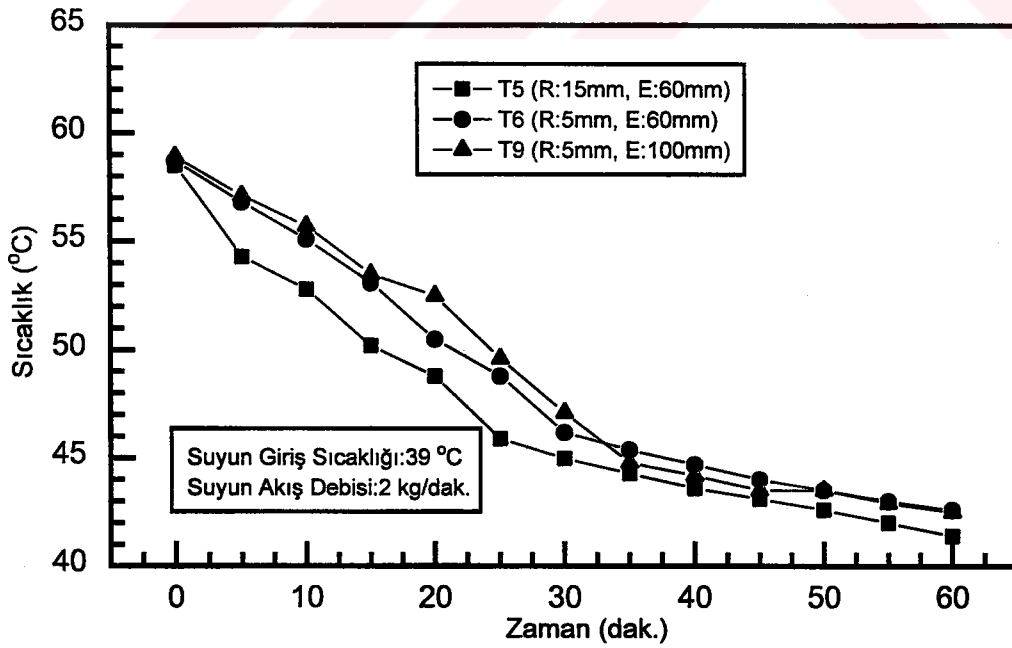
Şekil 4.150. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma Periyoduna ait radyal yöndeki sıcaklık profili (Eksenel mesafe: 100mm, ortalama depolama sıcaklığı: 59,9 °C, suyun giriş sıcaklığı: 42 °C ve suyun akış debisi: 1.3kg/dak.)



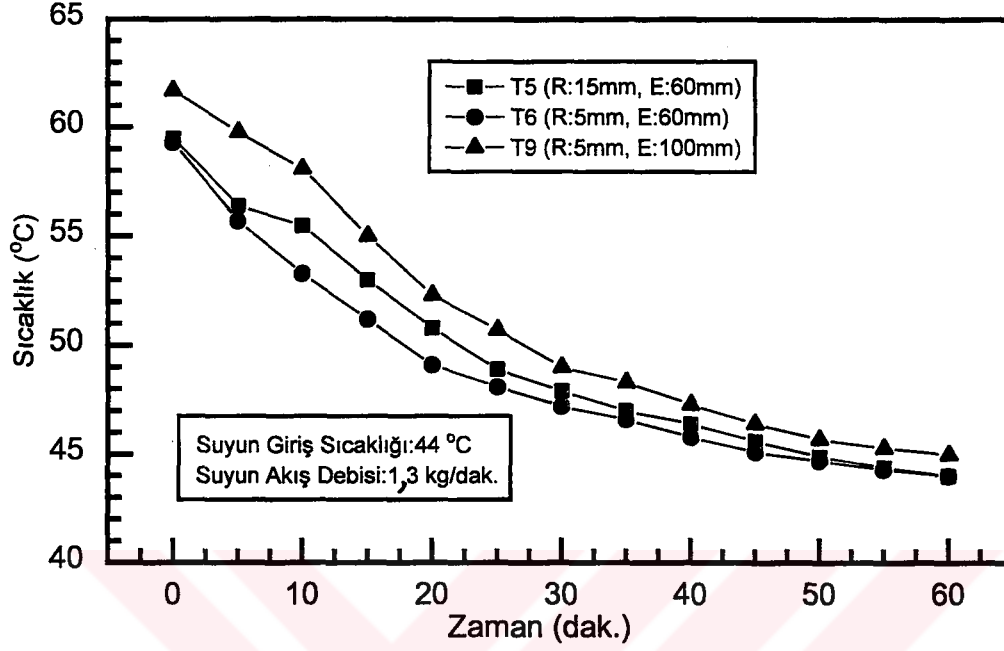
Şekil 4.151. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal ve eksenel yöndeki sıcaklık profili



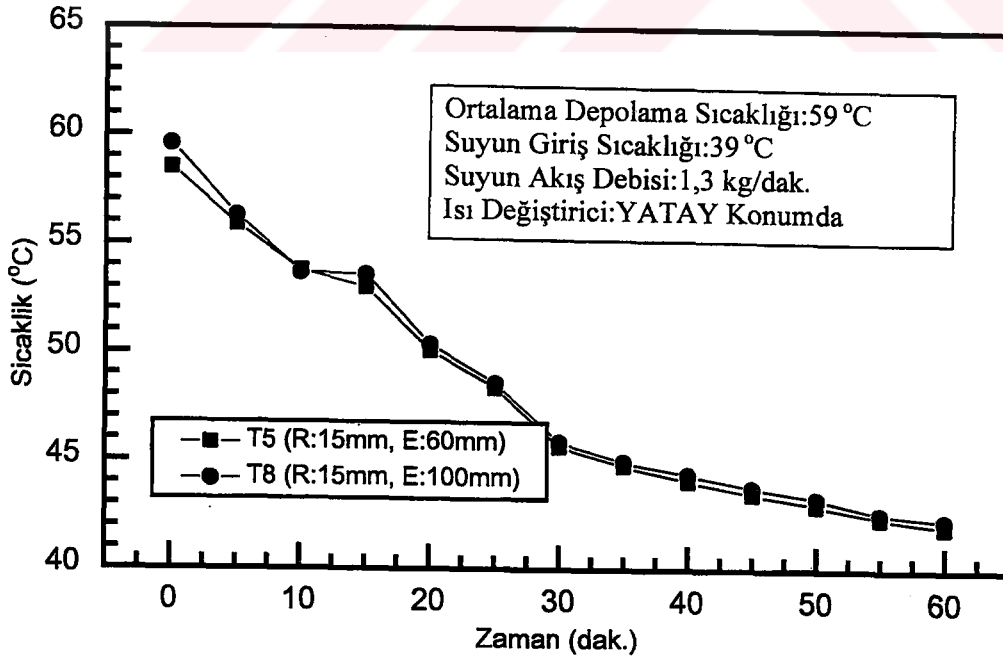
Şekil 4.152. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili



Şekil 4.153. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşma periyoduna ait radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili

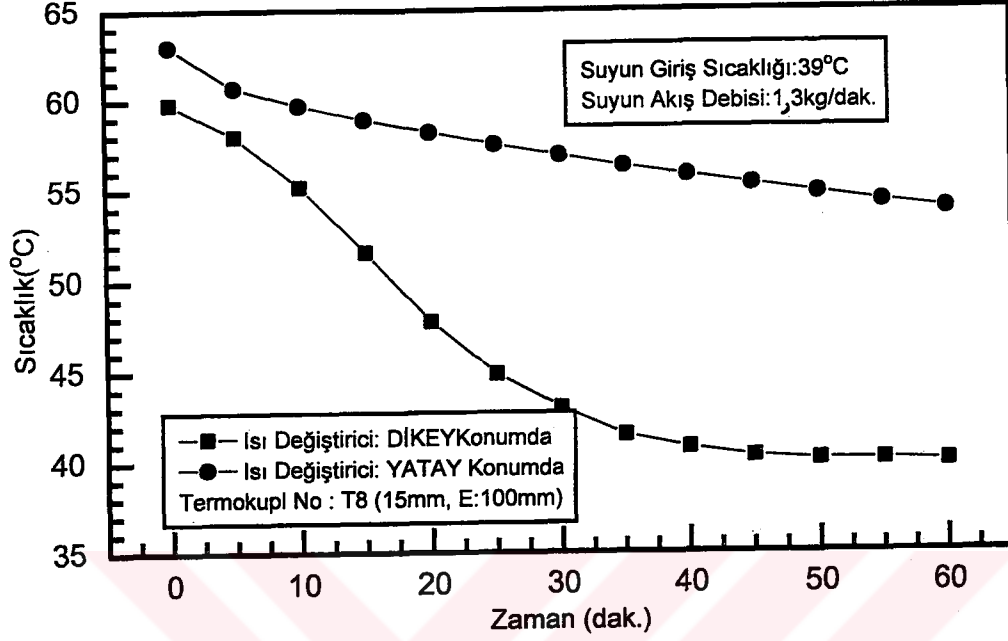


Şekil 4.154. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait radyal ve aksel yöndeki sıcaklık profili

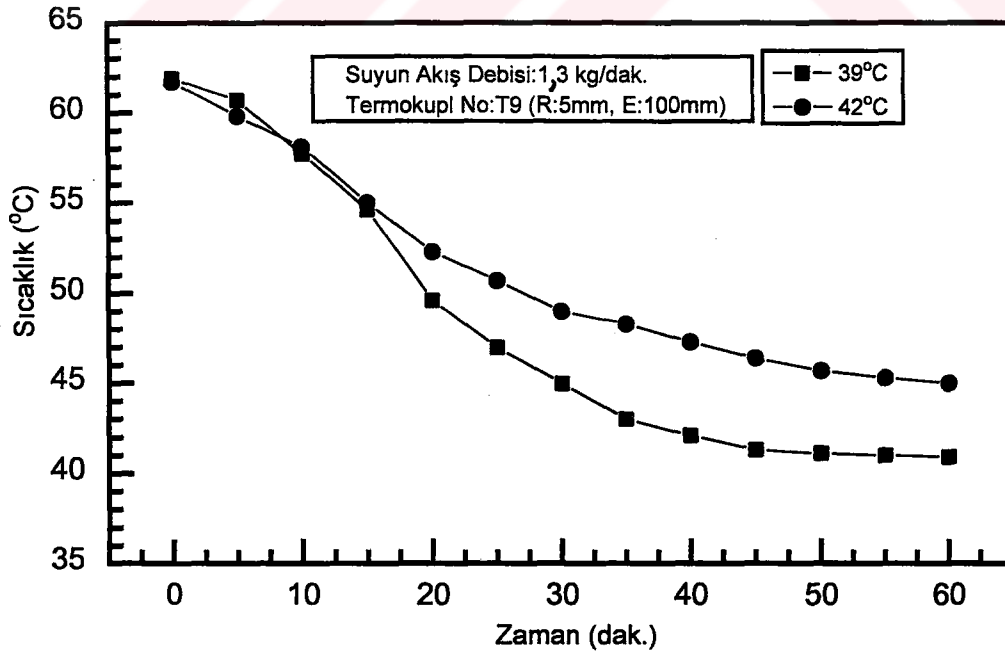


Şekil 4.155. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait aksel yöndeki sıcaklık profili (Isı değiştirici YATAY konumda)

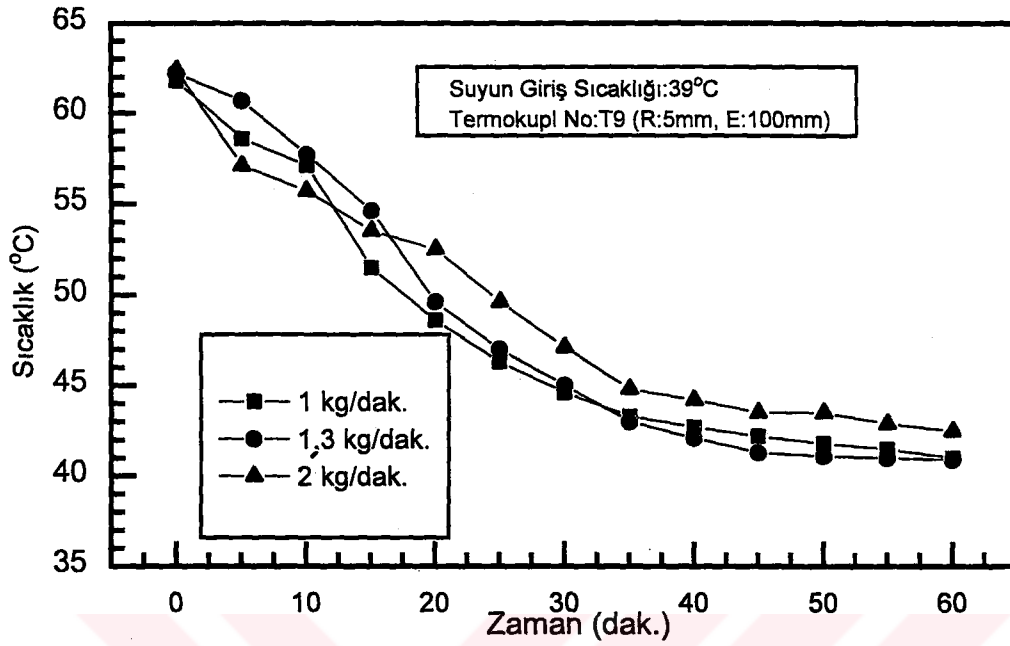




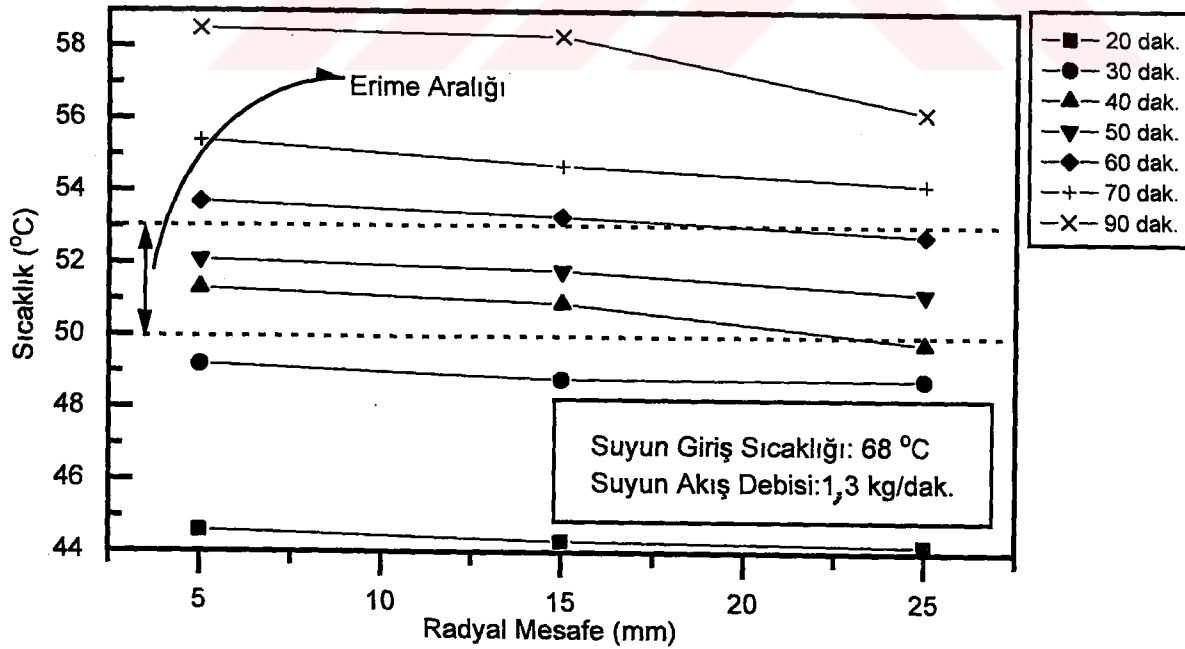
Şekil 4.156. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılma periyoduna ait farklı ısı değiştirici konumlarındaki sıcaklık profili



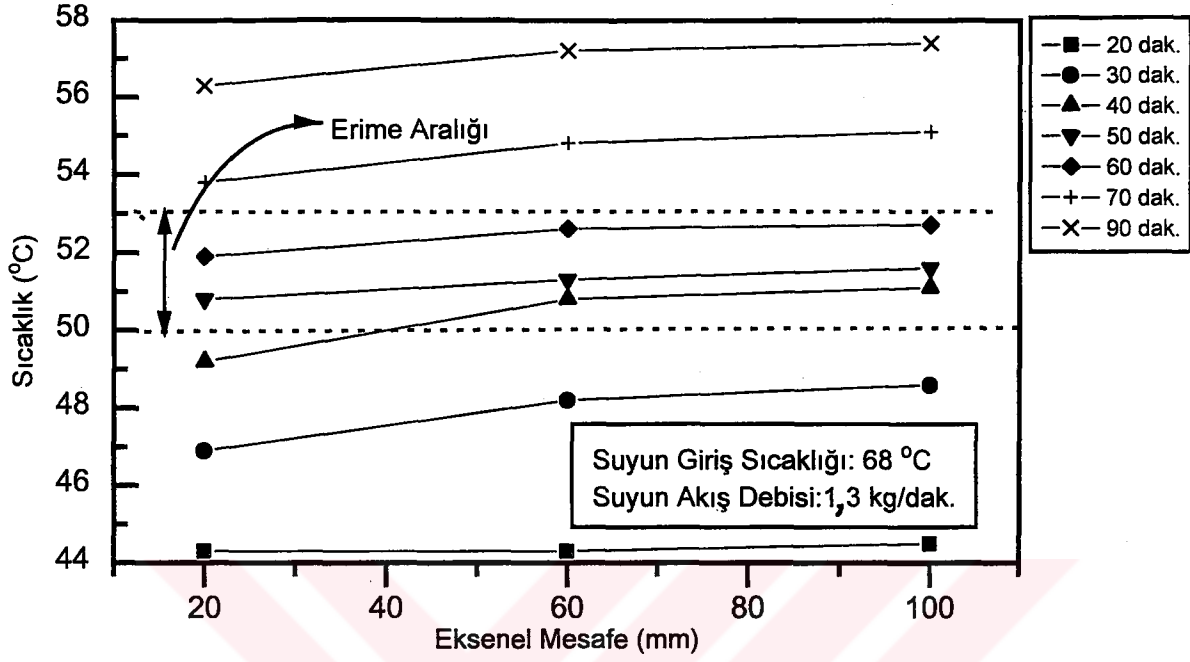
Şekil 4.157. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su giriş sıcaklıklarındaki katılma profili



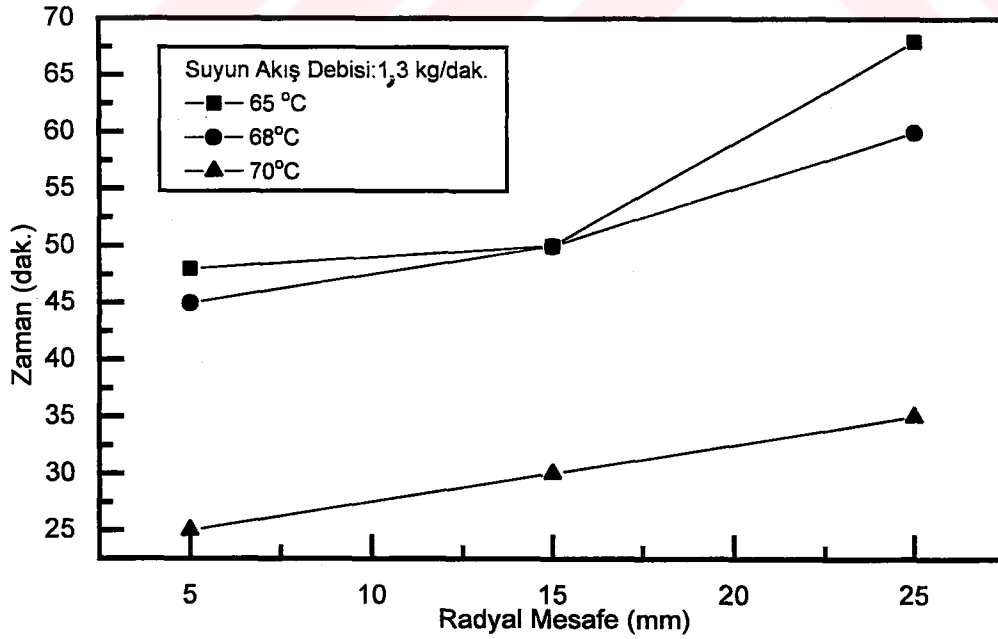
Şekil 4.158. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerindeki katılma profili



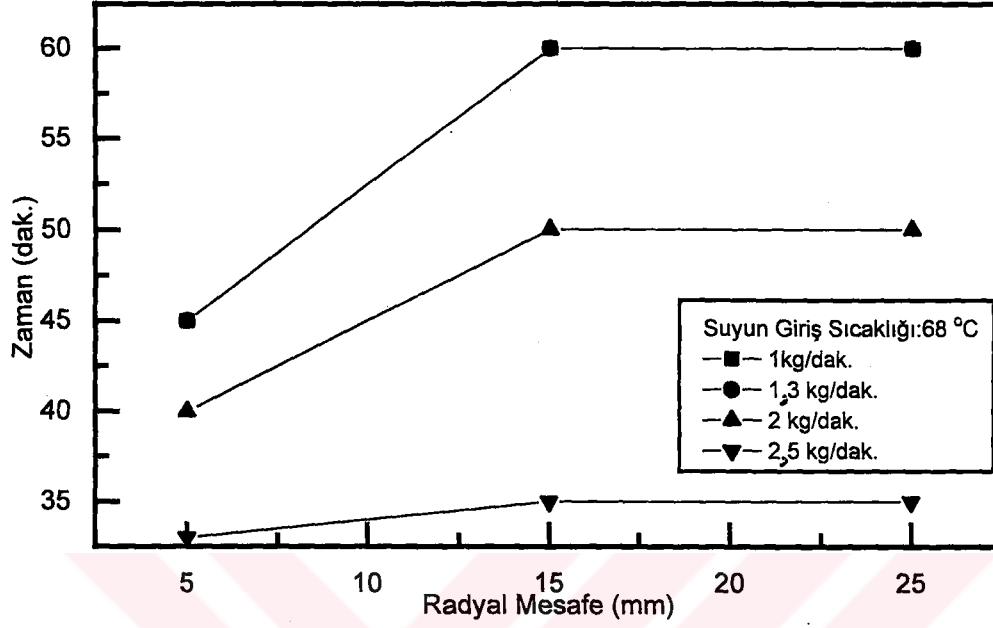
Şekil 4.159. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı sürelerde ve radyal yöndeki erime sıcaklık profili



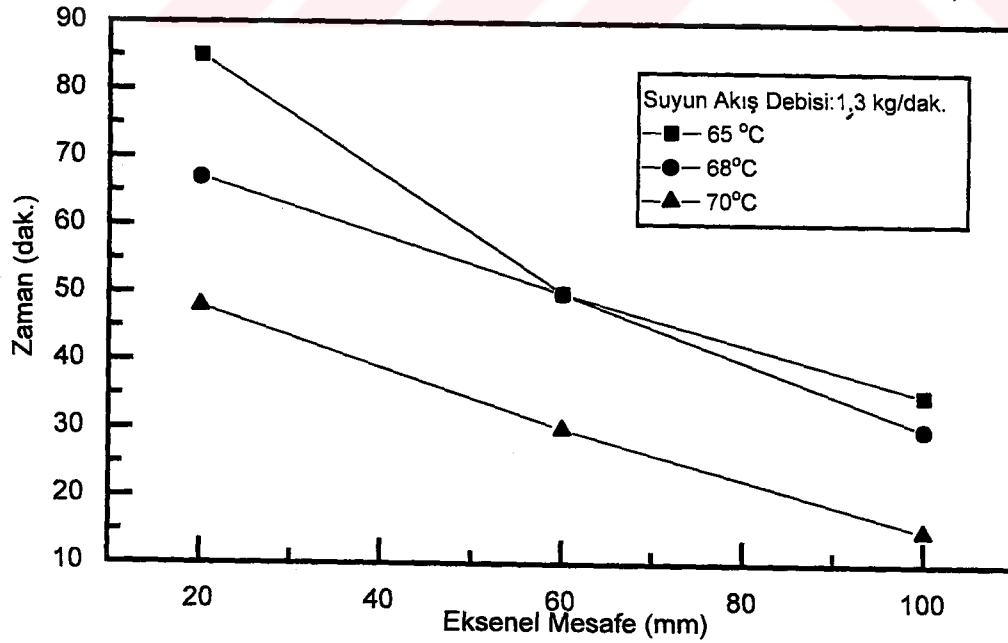
Şekil 4.160. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı sürelerde ve aksel yöndeki erime sıcaklık profili



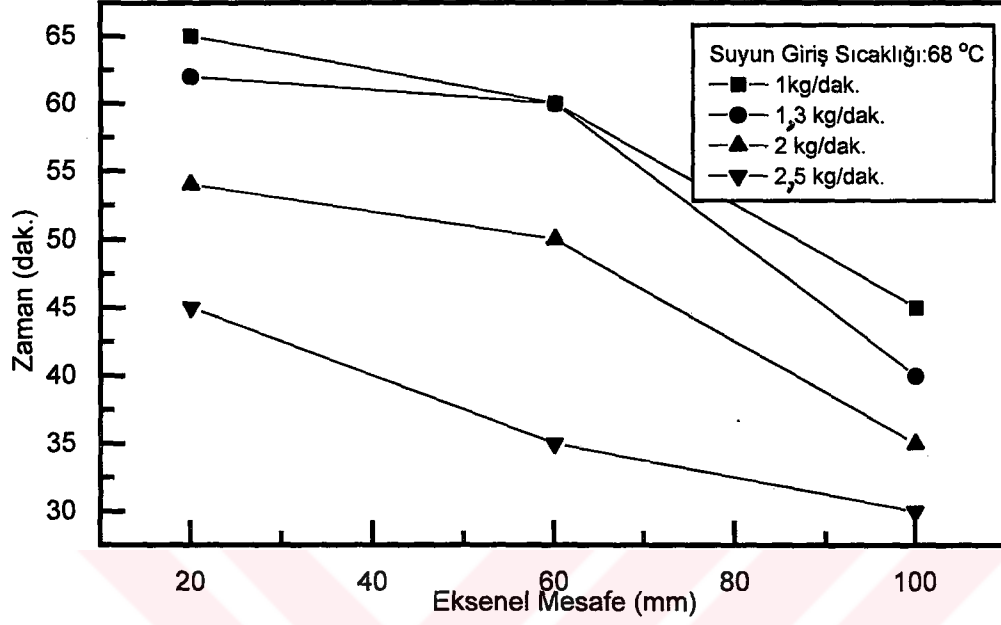
Şekil 4.161. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su giriş sıcaklıklarında ve radyal yöndeki erime süreleri



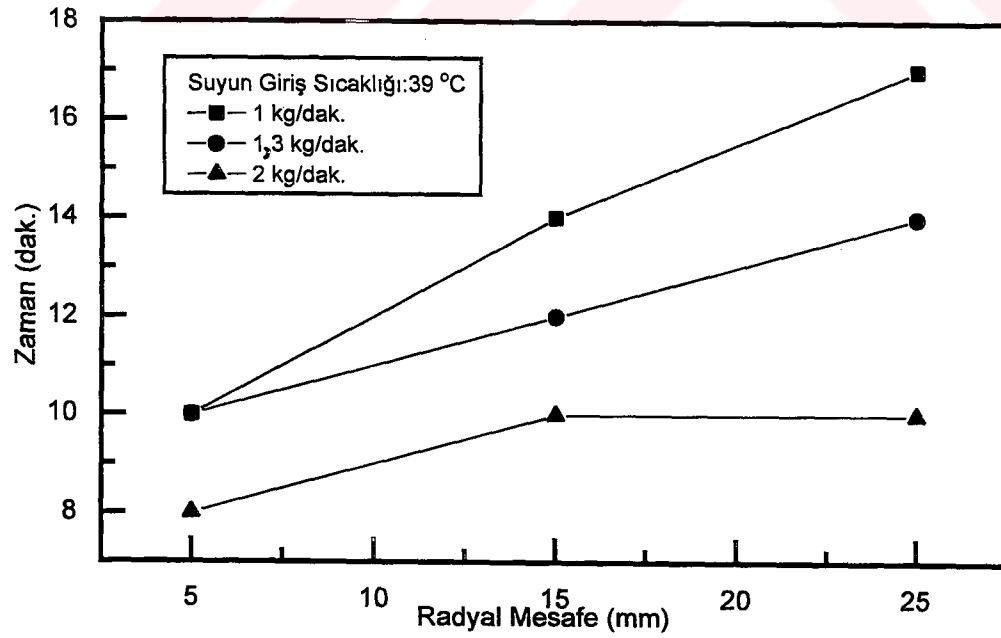
Şekil 4.162. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerdeki ve radyal yöndeki erime süreleri



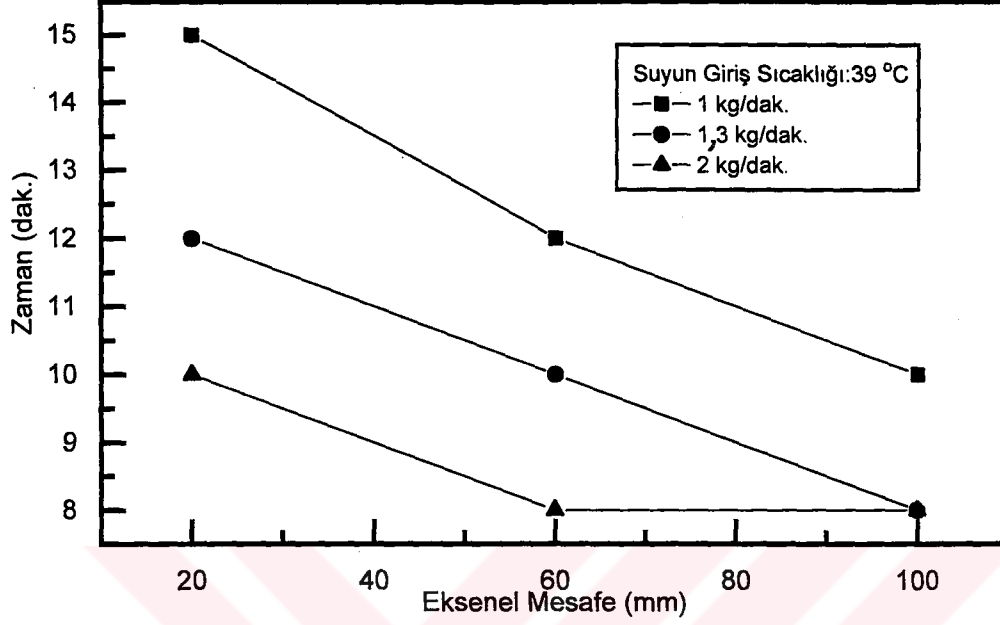
Şekil 4.163. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su giriş sıcaklıklarında ve eksenel yöndeki erime süreleri



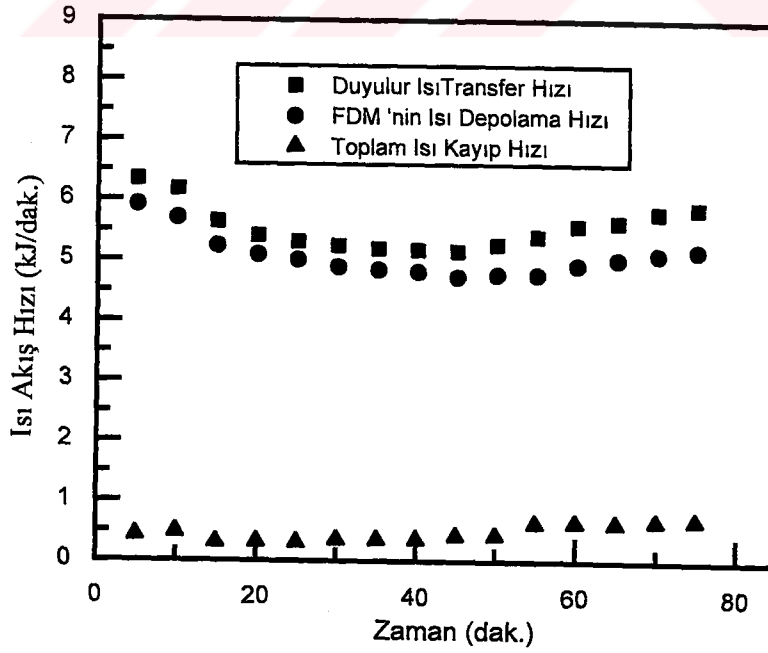
Şekil 4.164. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerdeki ve eksenel yöndeki erime süreleri



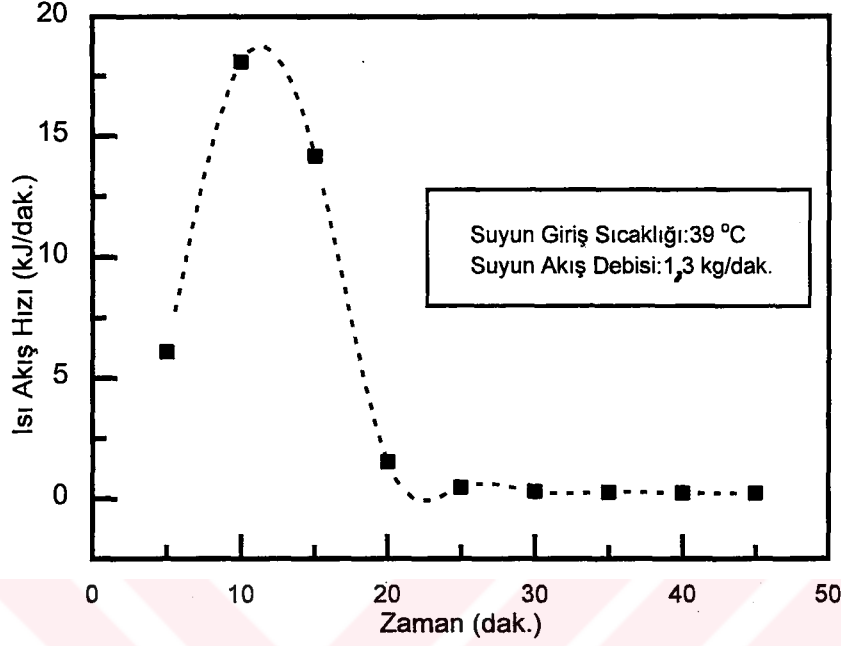
Şekil 4.165. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerinde ve radyal yöndeki erime süreleri



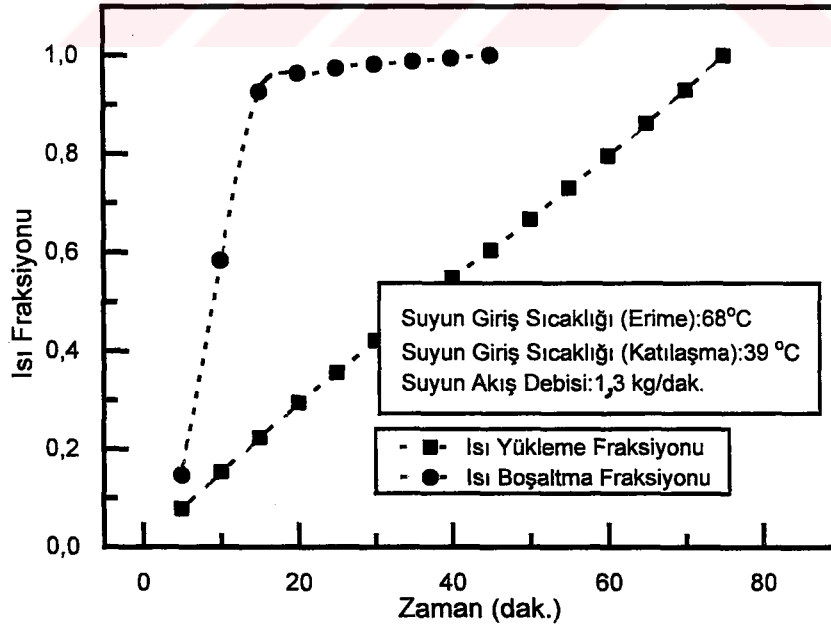
Şekil 4.166. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının farklı su akış debilerinde ve eksenel yöndeki erime süreleri



Şekil 4.167. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının erime periyodu süresince gerçekleşen ısı akış hızları (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)



Şekil 4.168. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının katılaşması süresince FDM'den çekilen ısının zamanla değişimi, (suyun giriş sıcaklığı: 39 °C ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)



Şekil 4.169. Miristik asit (% 65,7) + Stearik asit (% 34,3) ötektik karışımının erime (ısı yükleme) ve katılaşma (ısı boşaltma) periyotlarına ait ısı fraksiyonlarının zamanla değişimi (suyun giriş sıcaklığı: 68 °C/39 °C, ve suyun akış debisi: 1,3 kg/dak.)

## 5. TARTIŞMA

Bu çalışmada tüm maddeler, deney sisteminde yer alan aynı ısı değiştirici ve ısı transfer akışkanı kullanım şartları içerisinde incelendiğinden erime ve katılaşma periyotları süresince sahip oldukları faz dönüşüm davranışları oldukça benzerlik göstermektedir. Bu benzerlikten dolayı her bir FDM'nin faz dönüşümüne ait ısı transfer davranışları ortak olarak incelendi ve yorumlandı.

### 5.1. Erime Eğrileri

Deneysel çalışmalar bölümünde her bir FDM için verilen deney şartlarında gerçekleştirilen erime periyoduna ait radyal ve eksenel mesafelerdeki sıcaklık bulguları (Ekler bölümünde verilen) zamana karşı grafiğe geçirildi. Radyal ve eksenel noktalardaki erime davranışını gösteren eğriler sırasıyla, Stearik asit için; Şekil 4.1-24, Palmitik asit için; Şekil 4.75-86 ve Ötektik karışım (% 65,7 Miristik asit + % 34,3 Stearik asit) için, Şekil 4.122-138'de görülmektedir. Bu eğrilerden de anlaşıldığı gibi başlangıçtan erime sıcaklığına kadar FDM sıcaklığı hızlı artarken, erime işlemi boyunca sıcaklık sabit kalmakta ve erime bitiminde sıcaklık tekrar hızlı bir şekilde yükselmektedir. Verilen erime eğrilerinde eğrinin sabitleştiği noktalara ait süreler arasındaki fark tayin edilerek her bir FDM için ortalama erime süreleri belirlendi.

Erime eğrileri incelerken bu periyot süresince her bir FDM'nin gösterdiği ısı transfer davranışı ortak bir yorumla açıklanabilir: Erime boyunca FDM sıcaklığı iki enerji hızıyla kontrol edilir. Birincisi, enerjinin absorblandığı aşama olan erime işlemi, diğeri ise sıcaklık farkından dolayı birbirine komşu pozisyonlar arasındaki ısı transferidir. Eğer faz değişim maddenin herhangi bir noktasındaki dengenin varlığından söz edilecek olursa, bu noktaya transfer olan ısı, o noktada erime esnasında absorblanan ısı ile transfer edilen ısının toplamıdır.



transfer edilen ısının toplamıdır. Eğer o noktadan hiçbir ısı transferi olmuyorsa, o halde o noktadaki sıcaklık erime periyodunun hemen ardından artma eğilimi gösterecektir. İncelen tüm FDM'ler için bu tartışma, radyal yönde 6 nolu ve aksenal yönde 9 no'lu termorezistanslara ait erime eğrilerinden rahatlıkla gözlenebilmektedir. Isı transfer akışkanına yakın olan bu noktalardaki (Radyal mesafe:5 mm) erime eğrileri belirgin değildir ve bu sonuçlar dikkate alınarak erime sıcaklığının ve süresinin tayini bir yanılgıya sebep olabilir. Diğer yandan TR5 ve TR8 (Radyal mesafe:15 mm) noktalarındaki erime davranışı belirgindir. Çünkü bu noktalar FDM merkezinde olup simetriden dolayı merkezdeki kondüksiyon ısı transferi sıfırdır. O halde FDM merkezinden okunan sıcaklık bulgularına göre erime süresini ve sıcaklığını belirlemek daha güvenilir olacaktır.

Tüm erime eğrilerine bakılarak; erimenin böyle bir silindirik ısı değiştiricisi sistemi içerisinde radyal yönde içten dışa (ısı transfer akışkanına yakın olan noktadan uzak olan noktaya doğru), aksenal olarak da ısı değiştiricisinin üst kısmından alt kısmına doğru gerçekleştiği söylenebilir. Bunun sebebi ise, radyal yönde ısı transferine yakın olan noktadaki kondüksiyon ısı transferinin yüksek olması, aksenal yönde de FDM'nin üst kısmındaki serbest konveksiyonun erime esnasında artması ve buna ek olarak FDM üzerindeki boşlukta yer alan ısınmış hava ile FDM arasındaki konveksiyon ısı transferidir.

FDM içerisinde tayin edilen tüm noktalardaki erime işleminin ilerleyiş hızları birbirlerine göre farklılık gösterir. Örneğin, FDM'nin üst ve ısı transfer akışkanına yakın kısımlarında bu hız daha yüksektir. Yani erime işlemi silindirik şekilde gerçekleşmemektedir. Şekil 4.66-69, Şekil4.111-118 ve Şekil 159-166 bu ifadeleri doğrular niteliktedir.

Ayrıca, ısı değiştiricinin (ID) dikey konumdan yatay konuma getirilmesiyle her bir FDM'nin erime davranışları incelendi ve bulgular (Ekler bölümünde verildi) zamana karşı grafiğe geçirildi (Şekil 4.25-27, Şekil 4.87 ve 4.139-140). ID yatay konumda iken FDM'nin daha hızlı eridiği ve dolayısıyla da erime süresinin kısaldığı sonucunu bu eğrilerden gözlemlemek mümkündür. Yatay ID konumunda erime davranışındaki bu farklılığın nedeni

likit faz içerisindeki doğal konveksiyonla açıklanabilir: ID yatay durumda iken sıcak akışkanın daha geniş bir yüzeye yayılması ve ısı transferinin dikey konumdakine göre daha yüksek olması sebebiyle erime süresi azalmıştır.

İncelenen her bir FDM'nin erime periyodu için ifade edilen bu ortak sonuç ve yorumların tamamının literatürde yer alan ilgili tüm araştırma (Hasan 1994<sup>a</sup>; Hasan 1994<sup>b</sup>; Lacroix and Duong, 1998; Branstetter, 1988; Kar and Goncalves, 1999) sonuçlarıyla oldukça uyum ve benzerlik içerisinde olduğu gözlemlendi.

## 5.2. Katılma Eğrileri

Her bir FDM için verilen deney şartlarında gerçekleştirilen katılma periyoduna ait radyal ve aksel noktadaki termorezistans sıcaklık bulguları (Ekler bölümünde verildi) zamana karşı grafiğe geçirildi. Radyal ve aksel noktadaki katılma eğrileri sırasıyla Stearik asit için; Şekil 4.33-55, Palmitik asit için; Şekil 4.90-101 ve Ötektik karışım (% 65,7 Miristik asit + % 34,3 Stearik asit) için, Şekil 143-154'de görülmektedir.

Bu eğrilerden de görüldüğü gibi katılma periyodu başlangıcında FDM sıcaklığı ile ısı transfer akışkan sıcaklığı arasındaki fark yüksek olduğu için FDM'de hızlı bir sıcaklık düşüşü gözlenir. Katılma noktası veya aralığı boyunca FDM sıcaklığı sabit kalır. Sıcaklığın sabit kaldığı bu aralığa katılma aralığı ve bu periyot için geçen süreye de katılma süresi denir. Katılma esnasında FDM ilk olarak duyulur ısını ve daha sonra da sabit sıcaklıkta gizli ısını salıverir.

Erime periyodunda olduğu gibi Aksel yöndeki katılma (her bir FDM için) ısı değiştiricisinin (ID) üst kısmından alt kısmına doğru, ve radyal uzaklıklarda ise beklenenin aksi bir yönde meydana gelmektedir. Böylece katılmanın, ısı değiştiricisine uzak olan noktadan yakın olan noktaya doğru gerçekleştiği sonucunu soğuma eğrilerinden gözlemlemek

mümkündür. Beklenenin aksi şeklinde gerçekleşen bu duruma neden olan faktör ise, ısı transfer akışkanından uzak noktadaki ısı kayıp hızının yakın noktadaki ısı transfer hızından daha yüksek olmasıdır. Dolayısıyla katılma sıcaklığı (veya aralığı) ve süresi belirlenirken TR4 (Radyal mesafe: 25 mm) ve TR5 (Radyal mesafe: 15 mm) sıcaklıkları kriter olarak seçilemez. Ayrıca, TR7 (Radyal mesafe: 25 mm) ve TR8 (Radyal mesafe: 15 mm) noktalarında konveksiyon ısı transferinin yüksek olmasından dolayı FDM'nin bu uzaklıktaki noktalara ait katılma davranışı belirgin değildir. Eksenel uzaklıklardaki katılmanın ilerleyiş yönünü belirleyen temel etken ise, ID'nin üst kısmındaki serbest konveksiyon ısı transferinin artışıdır.

FDM içerisinde tayin edilen tüm noktalardaki katılma işleminin ilerleyiş hızları birbirlerine göre farklılık gösterir. Örneğin, üst eksenel uzaklıklarda bu hız daha yüksektir. Yani katılma işlemi silindirik şekilde gerçekleşmemektedir. Katılmadaki bu hız farklılığına sebep olan faktör ısı direncidir. İlk oluşan katı tabaka, ısı transfer akışkanı ile diğer sıvı tabaka arasındaki ısı geçişini engelleyen bir bariyer konumunda olduğu için doğal olarak bir katılma hızı farklılığı ortaya çıkacaktır. Şekil 4.68-69, Şekil 4.113-118 ve Şekil 161-166 bu ifadeleri doğrular niteliktedir.

Ayrıca, ısı değiştiricinin (ID) dikey konumdan yatay konuma getirilmesiyle her bir FDM'nin katılma davranışı incelendi ve elde edilen bulgular (Ekler bölümünde verildi) zamana karşı grafiğe geçirildi (Şekil 4.56-59, Şekil 4.102 ve 4.155-156). ID yatay konumda iken FDM'de daha hızlı bir katılmanın gerçekleştiği ve dolayısıyla da katılma süresinin kısaldığı sonucunu bu eğrilerden gözlemlemek mümkündür.

### 5.3. Faz Dönüşüm Sıcaklığı ve Süresi

Her bir FDM için erime ve katılma eğrileri incelenerek tayin edilen faz dönüşüm sıcaklığı ve süresi tablo halinde aşağıda verildi.

Çizelge 5.1. Her bir FDM için faz dönüşüm sıcaklığı ve süresi

İncelenen FDM (Toplam madde miktarı: 950 g)	Faz dönüşüm sıcaklığı (°C)				Ortalama faz dön. süresi (dakika)	
	Üretici firma	DSC analiz teknigi	Deneysel		Erime	Katılaşma
			Erime	Katılaşma		
Stearik asit (% 90 saflıkta)	> 54	60 – 61	58,5– 62,5	56 – 58	50	30
Palmitik Asit (% 97 saflıkta)	59	61	58 – 61	58 – 61	55	25
% 65,7 Miristik asit + % 34,3 Stearik asit		50 – 52	51 – 53	51 – 53	60	20

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi palmitik asit ve ötektik karışımın erime ve katılaşma sıcaklıkları aynı olmasına rağmen % 10 oranında safsızlık içeren stearik asitte ise 2-4 °C'lik bir aşırı soğuma davranışı gözlemlendi. Bu ısıl davranış Stearik asit'in erime ve katılaşma eğrilerinden de gözlenebilir. % 10 gibi yüksek miktarda safsızlık içermek, 10-15 kez faz dönüşümü sonucunda kristal yapıdaki bozulma ve ayrıca bu safsızlıktan dolayı tam (düzgün) bir kristal yapıya sahip olmama gibi nedenler stearik asitteki bu aşırı soğuma olayının nedenleri sayılabilir. Enerji depolamada kullanılacak FDM'de aranan özelliklerden biri olan "aşırı soğuma gösterme" özelliğine sahip Stearik asit'in (% 90 saflıkta) depolama amaçlı kullanılması depolama verimi bakımından uygun değildir.

Ayrıca, katılaşma işleminin erime işlemine göre yaklaşık % 50 oranında daha az bir sürede gerçekleşmiş olması bu tabloda dikkati çeken bir başka noktadır. Bunun sebebi ise, erime periyodu süresince meydana gelen serbest konveksiyonun (free convection) katılaşma

periyodundakine oranla daha etkin olması veya katılma süresince gerçekleşen kondüksiyon ısı transferinin diğer ısı transfer tipine nispeten daha etkili olmasıdır.

#### 5.4. Isı Transfer Akışkanının Giriş Sıcaklığındaki Değişim

Isı transfer akışkanının ID'ye giriş sıcaklığının erime ve katılma periyodu üzerindeki etkisi sırasıyla Stearik asit için Şekil 4.30, Şekil 4.62-65, Palmitik asit için Şekil 4.89, Şekil 4.110 ve Ötektik karışım için Şekil 142, Şekil 157'de görülmektedir. Her bir FDM için ısı transfer akışkanının (suyun) ID'ye giriş sıcaklığının erime ve katılma periyotları üzerindeki etkisi Çizelge 5.2'de verildi.

Çizelge 5.2. Her bir FDM için ısı transfer akışkanının giriş sıcaklığındaki değişimin faz dönüşüm periyotları üzerindeki etkisi

İncelenen FDM (Toplam madde miktarı: 950 g)	Isı transfer akışkanının ID'ye giriş sıcaklığı (°C)					
	Erime Periyodu için	Erime süresinde ki azalma	Katılma periyodu için	Katılma süresindeki azalma	Faz dön. Sıcaklığının birkaç derece üzerinde	Faz dönüşüm sıcaklığının çok üzerinde
Stearik asit (% 90 saflıkta)	74 – 81	% 30	45,5 – 34	% 36	Faz dönüşümü <i>kararlı</i>	Faz dönüşümü <i>kararsız</i>
Palmitik Asit (% 97 saflıkta)	76 – 80,5	% 54	47 – 38	% 44	Faz dönüşümü <i>kararlı</i>	Faz dönüşümü <i>kararsız</i>
% 65,7 Miristik asit + % 34,3 Stearik asit	65 – 70	% 40	42 – 39	% 35	Faz dönüşümü <i>kararlı</i>	Faz dönüşümü <i>kararsız</i>

Bu tabloda da görüldüğü gibi, ısı transfer akışkanın giriş sıcaklığı ile FDM sıcaklığı arasındaki fark ne kadar büyük olursa bu iki madde arasındaki kondüksiyon ısı transferi de o kadar yüksek olacak ve dolayısıyla da faz dönüşüm süresi o oranda azalacaktır.

### **5.5. Isı Transfer Akışkanının ( Suyun) Sirkülasyon Hızı (debisi)**

Bu karakteristik faktörün her bir FDM'ye ait faz dönüşüm periyodu üzerindeki etkisi sırasıyla stearik asit için Şekil 4.29-31, Şekil 4.61-63, palmitik asit için Şekil 4.88, Şekil 4.109 ve ötektik karışım için Şekil 141, Şekil 158'de verildi.

Bu eğrilere bakıldığında ısı transfer akışkan debisinin yaklaşık altı kat artırılmasıyla her bir FDM'nin faz dönüşüm süresindeki azalma oranı ortalama olarak yaklaşık % 20'yi geçmemektedir. Ayrıca, 6 kg/dak. gibi yüksek debide her bir FDM için gerçekleştirilen deneylerde elde edilen faz dönüşüm karakteristiklerinin istenilen kararlılıkta olmadığı gözlemlendi.

### **5.6. Isı Akış Hızı, Isı Fraksiyonu ve Isı Değiştiricisi (ID) Verimliliği**

Her bir FDM için erime periyodu süresince gerçekleşen duyulur ısı transfer hızı, FDM'nin ısı depolama ve toplam ısı kayıp hızı sırasıyla Şekil 4.72, Şekil 4.119 ve Şekil 4.167'de verildi. Katılma periyodu süresince her bir FDM'den çekilen ısı değerleri ve her iki periyoda ait ısı fraksiyonu Şekil 4.73-74, Şekil 120-121 ve Şekil 168-169'da grafik halinde verildi.

Yapılan hesaplamalar neticesinde her bir FDM için erime periyodu esnasında ısı kaybının düşük, fakat katılma işleminde ise bu kaybın yüksek olduğu ve erime periyodu

esnasında FDM'ye yüklenen ısının çok kısa bir sürede (katılma süresi) salıverilebildiği gözlemlendi.

Ayrıca, her bir FDM için yapılan deneyler sonucunda ID verimliliği sırasıyla, % 50,3; % 53,3; % 54,7 olarak bulundu. Yaklaşık birbirine eşit olarak hesaplanan bu verimlilik değerinin beklenenden düşük ve arzulananın altında olmasının sebebi ID'nin yapıldığı malzemenin yüksek ısı iletkenliğe sahip olması ve izolasyonun yeterli olmamasıdır.

Bu çalışmada, genel olarak aynı deneysel şartlar altında incelenen her bir FDM'nin depolama da kullanılabilirliği için elde edilen ortak bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1) Erime periyodu süresince ısı değiştiricisinden FDM'ye olan ısı transferi, etkili konduksiyon ve konveksiyon akımının yanısıra büyük çoğunlukla da doğal konveksiyon yoluyla gerçekleşir.

2) Isı transfer hızı, erime ve katılma süreleri (ısı yükleme ve ısı boşaltma periyodu süreleri), suyun ID'ye giriş sıcaklığı ve sistemdeki sirkülasyon debisiyle değişebilir.

3) Stearik asit'in aşırı soğuma hali radyal uzaklıklarda beklenen aksine bir katılma davranışı göstermesi dışında elde edilen tüm bulguların literatürde yer alan sonuçlarla büyük uyumluluk içinde olduğu gözlemlendi.

4) Ekler bölümünde verilen tablolarda yer alan katılma periyoduna ait su çıkış sıcaklıkları ile su giriş sıcaklıkları arasındaki farkın istenen büyüklükte olmamasının sebebi, tüm sistemin yeterli izole edilmemesi olarak kabul edildi.

## 6. ÖNERİLER

Tartışma bölümünde ele alınan sonuçlara dayanılarak, düşük sıcaklıkta faz değişimiyle enerji depolama konusunda önerilebilecek önemli noktalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1) İç içe geçmiş iki bakır borudan meydana gelen bir ID sistemi kullanılarak (deneyde kullanılan) enerjinin optimum yükleme ve boşaltma süre ve hızlarında gerçekleştirilip ve daha sonrada amaca uygun şekilde kullanılabilceği önerilmektedir.

2) Enerji depolayan sistemlerin tasarımında FDM'ye depoluk görevi yapacak ısı değiştiricisinin sistemde yatay konumda tutulması yüksek depolama ve boşalma verimliliği bakımından önemli olduğu unutulmamalıdır.

3) Çok daha iyi bir izolasyonla ID sistemi verimliliğinin artacağı deneysel olarak gözlemlendiğinden bu sonucun enerji depolama sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gerekir.

4) Faz değişim materyallerinin enerji depolama karakteristikleri belirlenirken sıcaklık algılayıcı olarak genellikle "termokuplların kulanıldığı" literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada yapılan tüm deneylerde sıcaklık algılayıcısı olarak termorezistansların kullanımı ve böylece hassas sonuçların elde edilmesi sebebiyle, bu sensörlerin bu amaç için rahatlıkla kullanılabilceği sonucuna varıldı.

5) Stearik asit (% 90 saflıkta), Palmitik asit (% 97 saflıkta) ve Ötektik karışımın (% 65,7 Miristik asit + % 34,3 Stearik asit) enerji depolama için uygun erime aralığı, faz dönüşüm ısı ve faz dönüşüm özelliklerine sahip olduğu ve dolayısıyla, bu üç FDM'nin düşük sıcaklıkta gizli ısı depolayan materyal olarak güvenle kullanılabilceği önerilir.

6) Isı değiştirici ve diğer sistem elemanlarının seçiminde korozyon olayının da dikkate alınması gerekir.

7) Enerji depolamayla ilgili yapılacak deneysel çalışmalar esnasında alınacak tüm bulguların dijital kontrollü olarak hassasiyetle ölçülmesi ve kaydedilmesi gerekir.



8) Isı değiştirici için malzeme seçiminde korozyona karşı dayanıklılık, ısıl iletkenlik ve maliyet faktörleri arasında çok iyi bir dengenin kurulması ve dolayısıyla da sistem tasarımında optimum şartların oluşturulmasına dikkat edilmelidir.

9) Enerji depolayan sistemlerin tasarımında detaylı teknik analizin yanında ekonomik analizin yapılması gerekir. Çünkü, pratik uygulamalarda ısıtma sistemlerinin ekonomikliği talep açısından en fazla öneme sahiptir. Yani ekonomik olmayan hiçbir sistem teknik bakımından mükemmel olsa da sisteme olan talebin az olacağı aşıkardır.



**KAYNAKLAR**

- ABHAT, A., 1980.** Rewue Physics Apply, 15, 477.
- ABHAT, A., 1983.** Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage, Heat Storage Materials, Solar Energy. Journal of Solar Energy, 30, 313-331.
- ARSLAN, Ö., 1993.** Enerjinin Faz Değişimiyle Tuz Hidratlarda Depolanması. F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- AYDIN, A., 1989.** Isı Transferi. İ.T.Ü Yayın No: 3574, İstanbul.
- BRANDSTETTER, A., 1988.** On the Stability of Calcium Chloride Hexahydrate in Thermal Storage Systems. Journal of Solar Energy, 41 (2): 183-191.
- BURUMLEVA, T.D., 1974.** Sensible Heat Storage in Liquids. Sandia Laboratories, Energy Report, SLL-73-263.
- CAO, Y., FAGHRİ, A., 1991.** Performance Characteristics of Thermal Energy Storage Module: a Transient PCM/Forced Convection Conjugate Analysis. Int. Journal of Heat and Mass Transfer, 34 (1): 93-101.
- CARLSSON, B., STYMME, H., WETTERMARK, G., 1979.** An Incongruent Heat of Fusion System  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  Made Congruent Through Modification of Chemical Composition of the System. Journal of Solar Energy, 23, 343-350.
- DİNÇER, İ., DOST, S., 1996.** Int. Journal of Energy Research, 20, 547-557.
- FELDMAN, D., SHARPİNO, D.B., FUCKS C.J., 1986.** Solar Energy Materials, 13 (1).
- GALEN, E.V., BRİNK, G.J., 1986.** International Journal of Ambient Energy, 7 (1).
- GARG, H.P., NASIM, M., 1981.** Studies on Low Temperature Salhydrate for Thermal Storage Applications. Journal of Energy Conversion and Mngmt., 21, 125-130.
- GARG, H.P., MULLİCK, S.C., BHARGAVA, A.K., 1985.** Solar Thermal Energy Storage. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- LANE, G.A., 1983.** Solar Heat Storage: Latent Heat Materials, CRC Press, 1983, USA.
- GÜLTEKİN, N., AYHAN, T., KAYGUSUZ, K., 1991.** Heat Storage Chemical Materials Which can be Used for Domestic Heating by Heat Pumps. Journal of Energy Conversion and Management, 32, 311-317.

- HAHNE, E., 1996.** In Proceedings of the First Trabzon International Energy and Environmental Symposium, Trabzon, Turkey, 1, 293-314.
- HALE, D.V., HOOVER, M.J., O'NEILL, M.J., 1971.** Nasa Report, NASA-CR.
- HASAN, A., SAYIĞH., A.A., 1994.** Some Fatty Acids as Phase Change Thermal Energy Storage Materials. *Renewable Energy*, 4 (1): 69-76.
- HASAN, A., 1994<sup>a</sup>.** Thermal Energy Storage System with Stearic Acid as Phase Change Material. *Journal of Energy Conversion and Management*, 35 (10): 843-856.
- HASAN, A., 1994<sup>b</sup>.** Phase Change Material System Employing Palmitic Acid. *Journal of Solar Energy*, 52 (2): 143-154.
- HASNAİN, S., SMİAİ, M., AL-SAEDİ, Y., AL-KHALDİ, M., 1996.** Energy Research Institute-Int.Report, KACST. Saudi Arabia.
- HASNAİN, S.M., 1998.** Review on Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part I: Heat Storage Materials and Techniques. *Journal of Energy Conversion and Management*, 39 (11): 1127-1138.
- KILKIŞ, B., KAKAÇ., S., 1989.** Importance of Energy Storage, Energy Storage Systems. Nato ASI Series, Kluwer Academic, 1-10.
- KILIÇ, A., ÖZTÜRK, A., 1983.** Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık.
- KANGAS, M.T., LUND, P.D., 1994.** *Journal of Solar Energy.*, 53 (39): 237.
- KAR, İ., GONCALVES, M.M., 1999.** Thermal Performance of a PCM Storage Unit. *Journal of Energy Conversion and Management*, 40 (2): 115-138.
- KAYGUSUZ, K., 1992.** Karadeniz Bölgesindeki Konutların Güneş Destekli Isı Pompaları Yardımıyla Isıtılabilirliğinin İncelenmesi. K:T:Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon.
- KAYGUSUZ, K., 1999.** The Viability of Thermal Energy Storage. *Journal of Energy Sources*, 21 (8): 745-756.
- KİNG, R., BURNS, A.P., 1981.** In Proc. Int. Conf. On Energy Storage. UK, 231.
- KOOPMANS, A., 1999.** Expert Consultation on Wood Energy, Climate and Health, Phuket, Thailand.
- LACROIX, M., DUONG, T., 1998.** Experimental Improvements of Heat Transfer in a Latent Heat Thermal Energy Storage Unit with Embedded Heat Sources. *Journal of Energy Conversion and Management*, 39 (8): 703-716.

- LANE, G.A., GLEW, D.N., 1975.** Heat of Fusion Systems for Solar Energy Storage., Proc. Workshop on Solar Energy Storage Subsystems Heating and Cooling of Building, 43-55.
- LANE, G.A., 1983.** Solar Heat Storage: Latent Heat Materials, CRC Press Inc., USA.
- LAVAN, Z., THOMSON, J., 1977.** Experimental Study of Thermally Stratified Hot Water Storage Tanks. Journal of Solar Energy, 19, 514-519.
- JOTSHI, C.K., GOSWAMI, D.Y., TOWLINSON, J.J., 1992.** In Proc. ASES Annual Conference,., USA.
- OZAWA, T., KAMIMOTO, M., SAKAMATO, R., TAKAHASHI, Y., KANARI, K., 1980.** Screening of Latent Heat Thermal Energy Storage Materials by Using Evaluated Thermodynamic Data. 7 th CODATA, Int.Conf., Kyoto (Japan).
- PILLAI, K.K., BRINKWORTH, B.J., 1976.** Applied Energy, 3, 225.
- SALYER, I.O., BOTHAM, R.A., 1978.** In Proc., 13 th IECEC, 948.
- SHARMA, S.K., JOTSHI, C.K., KUMAR, S., 1990.** Thermal Stability of Sodium Salt Hydrates for Solar Energy Storage Applications. Journal of Solar Energy, 45 (3): 177-181.
- SHARP, M.K., LOEHRKE, R.I., 1978.** Stratified Versus Well-Mixed Sensible Heat Storage in a Solar Space Heating Application, Presented at the AIAA-ASME Thermodynamics and Heat Transfer Conference, Palo, Alto, California.
- SHRÖDER, J., 1980.** Systems for Thermal Energy Storage in the Temperature Range from -25°C to 150°C. Proc. Sem. New Ways to Save Energy, 459-504, Dordrecht, Holland.
- TELKES, M., 1980.** Solar Energy Materials, 2, 381.
- WEINER, H., ZAIDMAN, B., SASSON, Y., 1989.** Storage of Energy by Solutions of Alkali Formate salts. Journal of Solar Energy, 43 (5):291-296.
- YANADORI, M., MASUDA, T., 1989.** Heat Transfer Study on a Heat Storage Container with Phase Change Material. Journal of Solar Energy, 42 (1): 27-34.
- YONEDA, N., TAKANASHI, S., 1978.** Heat Conduction and Diffusion With a Phase Change. Chapter from Advances in Chemical Engineering, Edited by T.B Drew et al., 5, 75-150.

## EKLER

## EK 1. Stearik Asit'in Faz Değişim Deneylerine Ait Sıcaklık Bulguları

Ek 1.1. Stearik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı:78 °C ve suyun akış debisi:1,2 kg/dak., ısı değiştirici dikey konumda)

Zaman (dak.)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8 (°C)	T9 (°C)	T <sub>su gir.</sub>	T <sub>su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	78	76,7
5	51,5	50,8	50,6	50,5	51,5	53,5	78	76,7
10	52	51,6	51	50,7	52,9	57,1	78	76,8
15	52,4	52,4	51,5	51,3	54,8	60,3	78	76,9
20	53,1	53	52	52,2	58,2	64,1	78	76,9
25	53,7	53,5	52,8	53	59,8	66,5	78	76,9
30	55	53,9	53,3	55,2	61,7	67,8	78	77
35	55,7	54,4	54,1	56	62,1	68,8	78	77
40	57,1	55,1	55	56,9	63	69,3	78	77,1
45	57,9	56,1	56,3	57,8	63,4	70	78	77,2
50	58,7	56,8	57,3	58,4	63,6	70,1	78	77,2
55	59,4	57,3	58,3	58,6	63,4	70,2	78	77,2
60	60	58	59,7	58,7	63,3	70,4	78	77,2
65	60,7	59,6	63,1	58,8	63,3	70,6	78	77,3
70	61,4	60,1	63,7	59,2	63,6	70,6	78	77,1
75	61,6	63,5	64,2	59,4	63,7	70,6	78	77,3
80	62	64	64,5	59,6	64	70,8	78	77,1
85	62,1	64,1	64,6	59,7	64	70,8	78	77,3
90	62,1	64,3	64,8	59,8	64,2	70,8	78	77,2
95	62,9	64,8	65,3	60,4	64,8	70,9	78	77,1
100	63,5	65,6	66	61	65,6	70,9	78	77,3
105	64,1	66,2	66,7	61,5	66	71,1	78	77,3
110	64,3	66,5	67,1	61,6	66	71,3	78	77,2
115	64,9	67	67,5	62	66,2	72,3	78	77,2
120	65,3	67,4	67,8	62,4	66,6	72,5	78	77,1
125	65,8	67,9	68,9	63	67	72,8	78	77,2
130	66,3	68,3	69,9	63,3	68,1	73,1	78	77,3
135	66,5	68,6	70,7	63,7	68,8	73,3	78	77,4
140	66,7	69,6	71,5	63,9	69,5	73,6	78	77,5
145	67,8	70,6	72,3	64,8	70,3	73,9	78	77,6
150	68,9	71,6	73	65,8	71	74,2	78	77,6

Ek 1.2. Stearik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı : 78 °C ve suyun akış debisi : 2,5 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5 (°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	78	76,9
5	52,6	51	51	51,8	51,6	58,4	78	76,9
10	53,1	51,8	51,5	52,2	53	63,6	78	76,9
15	53,5	52,4	51,9	53,1	54,6	66,2	78	77
20	54	53	52,7	55,3	58	67,3	78	77
25	54,9	53,7	53,7	56,4	61,5	68,6	78	77
30	56,1	54,6	54,6	57,5	62,5	69,5	78	77,1
35	57,1	55,5	55,7	58,6	63,2	69,9	78	77,2
40	58,6	56,7	57	59,3	63,8	70,1	78	77,3
45	60,1	57,7	58,3	59,8	64,4	70,4	78	77,2
50	61,2	58,7	61,2	60,2	64,7	70,4	78	77,1
55	61,9	61,6	64,4	60,6	64,9	70,5	78	77,3
60	62,7	64,4	65,2	61,6	65,1	70,5	78	77,3
65	63,2	65,4	65,9	62,3	65,6	70,6	78	77,2
70	63,5	65,8	66,3	63	65,8	70,8	78	77,3
75	63,7	66	66,6	63,6	66,8	71,2	78	77,3
80	63,9	66,3	66,9	64,2	67,4	71,6	78	77,3
85	64,1	66,5	67,1	64,8	68	72	78	77,2
90	64,3	66,6	67,3	65,4	68,6	72,4	78	77,3
95	64,9	67,2	67,8	66	69,4	72,8	78	77,4
100	65,6	67,9	68,3	66,6	70,1	73,1	78	77,5
105	66,2	68,4	69	67,2	70,8	73,5	78	77,6
110	66,5	68,8	69,2	67,8	71,5	73,9	78	77,7

Ek 1.3. Stearik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 78 °C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	78	76,7
5	52,2	50,8	50,8	51,1	51,4	58,5	78	76,8
10	53	51,5	51,1	51,8	53,8	64,3	78	76,8
15	53,4	52,3	51,5	52,9	57,8	65	78	76,8
20	53,9	52,9	52	53,4	59,1	68	78	76,9
25	55,2	54	53,3	53,6	62,1	69,3	78	76,9
30	56,4	54,9	54,1	56,8	63	70,1	78	77
35	57,4	55,7	55,4	57,9	63,7	70,5	78	77,1
40	58,6	56,6	56,6	58,6	63,9	70,5	78	77,2
45	59,7	57,7	57,9	59,3	64,3	70,3	78	77,3
50	60,9	58,5	59,7	60,1	64,9	70,8	78	77,4
55	61,9	59,9	63,8	60,5	65,2	71	78	77,3
60	62,7	63,7	65,1	60,8	65,4	71	78	77,4
65	63,2	65,2	65,9	61,2	65,7	71	78	77,4
70	63,7	66	66,4	61,6	66	71,2	78	77,4
75	64	66,3	66,8	61,8	66,3	71,4	78	77,4
80	64,1	66,4	67	61,9	66,2	71,4	78	77,3
85	64,4	66,7	67,3	62	67,2	71,5	78	77,4
90	64,8	67	67,6	62,3	67,9	71,7	78	77,4
95	65,3	67,6	68,1	62,8	68,6	72,1	78	77,5
100	66,1	68,3	68,8	63,9	69,3	72,9	78	77,6
105	66,5	69,2	69,6	64,8	70	73,3	78	77,7
110	67,7	69,9	70,3	65,7	70,7	73,6	78	77,7

Ek 1.4. Stearik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 78°C ve suyun akış debisi : 6 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	78	76,8
5	52,4	50,4	50,9	51,6	52,9	61,1	78	76,8
10	53,1	51,5	51,5	52,2	55,7	65,4	78	76,9
15	53,6	52,4	52	53	58,5	68,4	78	77
20	54,6	53,3	52,5	55,3	61,9	69,1	78	77,1
25	56,3	54,7	54,2	57,2	63,5	69,4	78	77,2
30	57,8	55,8	55,5	58,3	64,2	70,7	78	77,3
35	58,9	56,7	56,5	59,2	64,3	71,1	78	77,4
40	60,6	58,1	58,2	60,4	65,5	70,9	78	77,5
45	62	59,3	60,7	60,9	65,9	71,5	78	77,6
50	62,8	64,3	65	61,3	66	71,9	78	77,5
55	63,7	65,5	66,4	61,8	66,6	71,5	78	77,6
60	64	66,3	66,8	61,9	66,4	72,1	78	77,6
65	64,3	66,8	67,4	62,3	67,4	71,8	78	77,6
70	64,5	67	67,6	62,6	68,2	72,2	78	77,6
75	64,9	67,9	68	62,6	69	72,3	78	77,7
80	65,2	67,7	68,3	63	69,7	72,2	78	77,7
85	65,8	68,2	68,8	63,6	70,4	72,4	78	77,8
90	66,6	69	69,4	64,2	71,1	72,9	78	77,9
95	67,5	69,7	70,2	64,9	71,8	73,9	78	77,9
100	68,6	71,1	71,5	65,8	72,5	74,5	78	77,9



Ek 1.5. Stearik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 74°C ve suyun akış debisi : 3 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su,çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	74	72,7
5	50,6	50,4	50,5	50,4	51	53,8	74	72,8
10	51,3	50,8	50,9	50,7	52,7	57	74	72,8
15	51,8	51,3	51,3	51,1	54,4	59,3	74	72,9
20	52,3	51,7	51,7	51,5	56,5	62,6	74	73
25	52,6	52	52,1	51,9	57,8	64,4	74	73,1
30	53,1	52,3	52,5	52,4	59,2	65,1	74	73,2
35	53,6	52,6	52,9	53,3	59,5	66,1	74	73,2
40	54,1	53,1	53,6	53,7	59,8	66,4	74	73,3
45	54,8	53,6	54,3	54,4	60,5	66,5	74	73,3
50	55,5	54,1	54,9	55,1	60,6	66,7	74	73,3
55	56	54,6	55,7	55,6	60,9	66,8	74	73,3
60	56,5	55	56,8	56	61,3	67	74	73,3
65	57,3	55,4	57,8	56,7	61,4	67,1	74	73,3
70	58	56,2	59,6	57	61,7	67,2	74	73,3
75	58,7	56,7	61,9	57,3	61,9	67,3	74	73,3
80	59,6	57,4	62,6	57,5	62,1	67,3	74	73,3
85	60,1	59,7	62,8	57,5	62,3	67,3	74	73,3
90	60,3	61,7	63,2	57,9	62,4	67,6	74	73,3
95	60,5	62,1	63,4	58,1	62,4	67,6	74	73,3
100	61	62,5	63,6	58,3	62,7	67,6	74	73,3
105	61,2	62,7	63,9	58,5	63	67,7	74	73,3
110	61,4	63,2	64,1	58,7	63,1	67,9	74	73,3
115	61,5	63,4	64,2	58,9	64,2	68	74	73,3
120	61,6	63,5	64,4	59,9	65	68,5	74	73,4
125	61,7	63,7	64,5	61,5	65,8	69	74	73,5
130	62	63,8	64,7	62,1	66,5	69,4	74	73,5
135	62,3	63,9	65,7	62,7	67,2	69,8	74	73,5
140	63,1	64,2	66,6	63,4	67,9	70,5	74	73,6
145	63,8	65,2	66,7	64	68,7	71,2	74	73,6
150	64,5	66,1	67,4	64,7	69,5	72	74	73,6

Ek 1.6. Stearik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 81°C ve suyun akış debisi : 3 kg/dak., ısı değiştirici dikey konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	81	76,5
5	50,8	50,7	50	50,9	51,5	56,1	81	76,5
10	52,5	51,5	50,4	52	53,1	60,9	81	76,6
15	53,3	52,3	51	52,8	56	64,7	81	76,7
20	53,9	52,8	52,1	54,2	60,5	67,5	81	76,7
25	55,2	53,5	53,1	55,9	62,6	70,8	81	76,8
30	56,2	54,5	54,3	57,1	63,6	71,4	81	76,9
35	57,8	55,6	55,7	58,3	64,4	71,7	81	77
40	59,2	56,8	57,2	59,4	65	71,9	81	77,1
45	60,5	58	60	60,5	65,7	72,3	81	77
50	62,1	59,2	61,1	61	66,2	72,4	81	77,1
55	63,2	61,8	65,5	61,4	66,4	72,4	81	77
60	64	65,6	66,8	62	67	72,8	81	77
65	64,7	66,9	67,6	62,6	67,3	73	81	77
70	65,1	67,5	68	63	67,5	73,2	81	77
75	65,5	67,8	68,3	63,3	67,8	73,4	81	77
80	66	68,3	68,7	63,7	68,8	73,6	81	77,1
85	66,6	68,7	69,9	63,9	69,5	73,9	81	77,2
90	67,7	69,7	70,9	64,8	71,1	74,3	81	77,3
95	68,4	70,4	71,9	66	71,7	74,7	81	77,4
100	69	71,1	72,8	66,8	72,3	75,1	81	77,5
105	69,6	71,9	73,9	67,6	72,9	75,5	81	77,6
110	70,3	72,8	74,8	68,5	73,5	75,9	81	77,7

Ek 1.7. Stearik asit için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksel noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı : 41,5°C ve suyun akış debisi : 1,2 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su,gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	68,9	71,6	73	65,8	71	74,2	41,5	41,6
5	63,2	64,1	66,1	60,1	65,3	69,4	41,5	41,6
10	59,2	61,4	61,9	56,8	60,4	65,3	41,5	41,5
15	55,1	57,3	57,8	54,2	57,1	60,9	41,5	41,5
20	53,3	55,1	55,6	51	53,9	58	41,5	41,5
25	52,2	54,3	54,5	50	52,7	56,2	41,5	41,5
30	51,2	53,7	54	48,8	51,6	55	41,5	41,5
35	50,2	53	53,7	47,6	50,9	54,8	41,5	41,4
40	49,3	52,4	53,5	46,7	50,2	54,6	41,5	41,4
45	48,3	51,7	53	45,9	49,6	54,3	41,5	41,4
50	47,5	51,2	52,8	45,3	49	54,1	41,5	41,4
55	47	50,8	52,6	44,6	48,3	53,8	41,5	41,4
60	46,4	50,2	52,3	44	47,6	53,4	41,5	41,4
65	45,6	49,6	52	43,4	47	52,9	41,5	41,4
70	44,9	48,9	51,5	42,5	46,1	52	41,5	41,4
75	44,5	48,3	51,1	42,2	45,5	51	41,5	41,4
80	44,3	48,1	50,9	42,1	45,3	50,5	41,5	41,3

Ek 1.8. Stearik asit için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksel noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 41,5°C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	66,5	68,8	69,2	67,8	71,5	73,9	41,5	41,6
5	62,5	65,7	66,3	62,7	66,6	68,6	41,5	41,6
10	59,9	62,4	64,9	58,7	61,3	64,2	41,5	41,5
15	56,3	58,6	60,4	54,9	58,7	61,5	41,5	41,5
20	53,9	55,9	56,6	51,6	54,8	59,3	41,5	41,5
25	52,7	54,5	54,6	50,2	52,9	56,6	41,5	41,5
30	51,5	53,9	54,1	48,7	51,7	55,2	41,5	41,5
35	50,5	53,8	53,8	48,1	51,2	54,8	41,5	41,4
40	49,5	52,6	53,5	47	50,4	54,5	41,5	41,4
45	48,7	52	53,2	46	49,9	54,4	41,5	41,4
50	47,6	51,3	52,8	45,1	49,1	54,1	41,5	41,4
55	46,7	50,6	52,5	44,6	48,5	53,9	41,5	41,4
60	46,3	50,2	52,2	43,7	47,8	53,4	41,5	41,4
65	45,6	50	52	43,3	47,3	52,9	41,5	41,4
70	45,1	49,1	51,6	42,6	46,6	52,3	41,5	41,3
75	44,8	48,6	51,3	42,4	46,1	51,5	41,5	41,3
80	44,5	48,3	51	42,3	45,1	50,8	41,5	41,3

Ek 1.9. Stearik asit için *katılaşma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 41,5°C ve suyun akış debisi : 3 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	67,7	69,9	70,3	65,7	70,7	73,6	41,5	41,6
5	62,3	64,7	64,6	60,5	65	70,4	41,5	41,5
10	56,2	58,2	58,6	54,2	58,1	62,9	41,5	41,5
15	53,2	55,2	55	51	54,1	58,1	41,5	41,5
20	52,2	54,1	54,1	49,7	52,4	55,6	41,5	41,5
25	51,4	53,7	53,9	48,6	51,6	54,9	41,5	41,5
30	50,1	53	53,7	47,5	50,9	54,7	41,5	41,4
35	49,2	52,4	53,3	46,6	50,2	54,5	41,5	41,4
40	48,4	51,8	53,1	45,8	49,7	54,3	41,5	41,4
45	47,6	51,3	52,8	45,1	49	54	41,5	41,4
50	47	50,7	52,6	44,5	48,3	53,6	41,5	41,4
55	46,1	50	52,2	43,7	47,5	52,8	41,5	41,4
60	45,4	49,4	51,8	43	46,8	52,1	41,5	41,4
65	44,6	48,6	51,5	42,4	46,2	51,4	41,5	41,4
70	44,3	48,3	51,2	42,3	45,8	50,8	41,5	41,3
75	44	47,9	50,1	42,2	45,4	50,1	41,5	41,3
80	43,7	47,5	49,3	42,1	44,9	49,4	41,5	41,3

Ek 1.10. Stearik asit için *katılaşma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 41,5°C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	68,6	71,1	71,5	65,8	72,5	74,5	41,5	41,6
5	64,3	65,4	65,9	61,2	67,1	71,3	41,5	41,6
10	59,2	61,9	62,7	58,3	62,6	68,6	41,5	41,5
15	54,2	56,5	57,1	51,9	55,3	60	41,5	41,4
20	52,9	54,6	55,4	50,7	53,7	57,9	41,5	41,4
25	51,2	53,6	53,9	48,9	51,7	55,2	41,5	41,4
30	50,2	53,1	53,7	47,7	50,8	54,7	41,5	41,4
35	49	52,3	53,2	46,4	50,1	54,5	41,5	41,4
40	48,2	51,7	53	45,7	49,3	54,2	41,5	41,4
45	47,6	51,2	52,7	45,2	48,8	54	41,5	41,4
50	46,9	50,6	52,5	44,6	48,6	53,7	41,5	41,4
55	46,4	50,1	52,3	44,1	47,6	53,3	41,5	41,4
60	45,8	49,7	51,9	43,5	46,9	52,7	41,5	41,4
65	45,2	49,1	51,6	42,9	46,3	52	41,5	41,3
70	44,6	48,5	51,2	42,4	45,7	51	41,5	41,3
75	44,1	48	50,9	42,2	45,3	50,4	41,5	41,3
80	43,8	47,6	50,6	42	44,8	49,5	41,5	41,3

Ek 1.11. Stearik asit için *katılaşma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 34°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	67,7	69,9	70,3	65,7	70,7	73,6	34	34,1
5	60,3	62,6	63,7	58,2	62,5	67,2	34	34
10	55,7	58,3	59,3	53,2	57,4	64,4	34	34
15	52,7	54,8	55,4	50,7	54,2	58,9	34	34
20	50,9	53,5	53,9	48,1	51,3	55,1	34	33,9
25	49	52,6	53,2	46	50	54,4	34	33,9
30	47	51,5	52,8	44,1	49	54,1	34	33,9
35	46	50,6	52,4	43,1	47,9	53,8	34	33,9
40	44,5	49,4	51,8	41,6	47	53,2	34	33,9
45	43,5	48,4	51,4	40,9	46,1	52,4	34	33,9
50	42,2	47,3	50,6	39,5	44,5	50,3	34	33,9
55	41,4	46,7	50,1	38,7	43,8	49,2	34	33,9
60	40,6	45,6	49,5	38,2	42,4	47,7	34	33,9
65	40,3	45,2	49,1	38	41,8	46,9	34	33,9
70	39,7	44,6	48,8	37,6	41,3	46,1	34	33,9
75	39,4	44,2	48,2	37	40,5	45,2	34	33,8
80	38,9	43,6	47,6	36,6	39,9	44,3	34	33,8

Ek 1.12. Stearik asit için *katılaşma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 45°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	67,7	69,9	70,3	65,7	70,3	73,6	45	45
5	64,9	67,8	68,8	61,8	66,2	71,2	45	45
10	58,7	61,3	61,9	56,4	60,5	65,5	45	45
15	54,9	57,1	57,7	52,7	56,2	60,6	45	45
20	52,9	54,7	55,1	50,6	53,7	57,4	45	44,9
25	52,1	54	54,1	49,6	52,4	55,6	45	44,9
30	50,8	53,4	53,8	48,4	51,4	54,6	45	44,9
35	50	53	53,6	48,1	51	54,5	45	44,9
40	49,2	52,3	53,2	47,8	50	54,4	45	44,9
45	48,4	51,8	52,9	47,5	49,7	53,8	45	44,9
50	47,9	51,4	52,7	47,2	49,3	53,5	45	44,9
55	47,5	50,9	52,5	46,9	48,8	53,2	45	44,8
60	47,1	50,6	52,3	46,6	48,5	52,8	45	44,8
65	46,7	50,3	52,2	46,3	48	52,4	45	44,9
70	46,3	49,9	52	46	47,5	51,9	45	44,8
75	45,8	49,4	51,7	45,7	47	51,5	45	44,8
80	45,5	49,1	51,5	45,5	46,5	51	45	44,8

Ek 1.13. Stearik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 74°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *yatay* konumda)

Zaman (dak.)	T5(°C)	T6(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	74,0	72,7
5	50,5	50,4	50,4	51,1	74,0	72,7
10	51	50,7	51,4	51,9	74,0	72,8
15	52,1	51	52	52,6	74,0	72,8
20	52,7	51,4	52,4	53,1	74,0	73,0
25	53,2	52	52,8	53,6	74,0	72,9
30	53,6	52,5	53,2	54	74,0	73,0
35	54,2	52,8	53,6	54,4	74,0	73,1
40	54,8	53,1	54,1	54,7	74,0	73,2
45	55,1	53,5	54,4	55	74,0	73,3
50	55,4	53,7	54,7	55,2	74,0	73,3
55	55,7	54	54,9	55,5	74,0	73,3
60	56,1	54,1	55,2	55,7	74,0	73,3
65	56,3	54,3	55,4	55,9	74,0	73,3
70	56,6	54,5	55,8	56	74,0	73,3
75	56,8	54,7	55,8	56,2	74,0	73,2
80	56,9	54,8	56	56,6	74,0	73,2
85	57,1	55	56,1	57	74,0	73,3
90	57,3	55,3	56,3	57,4	74,0	73,3
95	57,4	55,4	56,5	58,2	74,0	73,2
100	57,6	55,6	56,6	59,4	74,0	73,2
105	57,6	55,7	57	59,6	74,0	73,2
110	57,8	55,8	57,3	60,9	74,0	73,3
115	57,9	56	57,7	61,8	74,0	73,4
120	58,3	60,5	57,9	62,7	74,0	73,5
125	58,5	63,4	58,1	63,3	74,0	73,5
130	58,6	63,9	59	64,2	74,0	73,6
135	58,8	64,4	59,8	65,1	74,0	73,7
140	59	64,9	60,7	66	74,0	73,8
145	60,2	65,4	61,5	66,8	74,0	73,8
150	61,3	66	62,2	67,7	74,0	73,9
155	62,5	66,4	62,9	68,4	74,0	73,9

Ek 1.14. Stearik asit için *katılaşma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 41,5°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *yatay* konumda)

Zaman (dak.)	T5(°C)	T6(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	62,5	66,4	62,9	68,4	41,5	41,6
5	59,9	61,6	58,3	62,6	41,5	41,6
10	55,7	58,5	54,2	58,9	41,5	41,6
15	54,5	53,9	53	54,6	41,5	41,5
20	54,1	51,6	52,4	53,5	41,5	41,5
25	53,4	50	51,8	51,3	41,5	41,5
30	52,8	49	51	49,8	41,5	41,5
35	52,2	48	50,6	48,9	41,5	41,5
40	51,7	47,5	50	48,1	41,5	41,5
45	51,2	46,7	49,5	47,4	41,5	41,5
50	50,7	46,1	49	46,8	41,5	41,4
55	50,2	45,6	48,5	46,3	41,5	41,4
60	49,5	45,1	48	45,8	41,5	41,4
65	49,1	44,4	47,4	45,3	41,5	41,4
70	48,5	44	47	44,9	41,5	41,4
75	48,1	43,5	46,6	44,3	41,5	41,3
80	47,8	43,2	46,4	44,1	41,5	41,3
85	47,5	43,1	46,1	44	41,5	41,3

## Ek 2. Palmitik Asit'in Faz Değişim Deneşlerine Ait Sıcaklık Bulguları

Ek 2.1. Palmitik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 78°C ve suyun akış debisi: 1,2 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	78	76,6
5	51,3	51	50,5	50,9	51,1	53,4	78	76,6
10	53,5	52,3	51	51,9	53,2	56,9	78	76,6
15	54,8	54,1	53	53	54,7	59	78	76,7
20	55,7	55,4	54,5	53,7	55,7	60,2	78	76,7
25	56,3	56,4	55,6	54,3	56,3	61,9	78	76,8
30	57,2	57,5	56,6	55	57,3	64,6	78	76,9
35	57,8	58,1	57,2	55,5	58,2	66,1	78	76,8
40	58,2	58,5	57,7	55,8	59,1	66,8	78	76,8
45	58,7	58,9	58,1	56,2	59,9	67,2	78	76,8
50	58,9	59,2	58,4	56,5	61	68,5	78	76,9
55	59,1	59,4	58,7	57	62,1	69,3	78	77
60	59,6	59,7	59	57,8	63,3	69,6	78	77,1
65	59,8	60	59,3	58,3	64,1	70	78	77,2
70	60,1	60,2	59,6	58,7	64,5	70	78	77,2
75	60,5	60,3	59,8	59,1	64,6	70,1	78	77,2
80	60,8	60,6	60,2	59,3	64,8	70,2	78	77,2
85	61,1	60,8	60,5	59,5	65	70,3	78	77,3
90	61,4	61,1	61	59,8	65,1	70,3	78	77,4
95	61,7	61,2	61,3	60,2	65,5	70,4	78	77,5
100	62,1	61,5	61,7	60,5	65,7	70,5	78	77,5
105	62,6	61,9	62,4	60,7	66,1	70,9	78	77,5
110	63	62,3	62,9	61,1	66,6	71,4	78	77,6
115	63,3	63	63,7	61,7	67,3	71,9	78	77,5



Ek 2.2. Palmitik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 78°C ve suyun akış debisi: 2,5 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	78	76,7
5	52,5	51,8	51,2	51	52,2	54,7	78	76,8
10	54,7	54,3	53,5	52,9	54,6	58,6	78	76,7
15	55,9	55,7	54,6	53,8	55,7	60,6	78	76,7
20	57,1	57,2	55,9	54,9	57,6	64	78	76,8
25	57,7	57,8	57	55,5	59	66	78	76,8
30	58,1	58,4	57,4	55,8	60,3	67,5	78	76,8
35	58,5	58,9	58	56,2	61,5	68,5	78	76,9
40	58,7	59,1	58,3	56,4	62,4	69,2	78	77
45	59,3	59,7	59,1	57,8	64,1	70	78	77,1
50	59,6	60	59,4	58,4	64,5	70,1	78	77,1
55	60	60,3	59,8	58,8	64,7	70,4	78	77,1
60	60,2	60,5	60	59	64,9	70,4	78	77,2
65	60,9	60,9	60,9	59,6	65,3	70,4	78	77,2
70	61,2	61,2	61,2	59,9	65,5	70,5	78	77,1
75	61,6	61,4	61,6	60,2	65,7	70,6	78	77,2
80	61,9	61,6	61,8	60,5	66	70,6	78	77,3
85	62,3	61,8	62,2	60,8	66,1	70,6	78	77,4
90	62,7	62,2	62,6	61	66,3	70,7	78	77,3
95	63,3	62,6	63,4	61,2	66,4	70,7	78	77,4
100	63,7	63,4	63,9	61,4	66,6	70,8	78	77,3
105	64,1	63,9	65,9	61,7	66,8	70,9	78	77,4
110	64,3	64,3	66,6	62	67	71	78	77,5
115	64,7	66	67,5	62,4	67,4	71,2	78	77,5

Ek 2.3. Palmitik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 78°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici dikey konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	78	77,3
5	53,2	52,5	51,4	51,3	53,9	54,6	78	77,3
10	55,3	55,3	54,1	53	55,4	57,1	78	77,2
15	56,3	56,5	55,7	54,1	56,4	59,8	78	77,2
20	57,1	57,5	56,7	54,9	57,2	61,5	78	77,2
25	57,5	58,1	57,3	55,4	58	64,5	78	77,2
30	58	58,6	57,9	55,7	58,9	66,4	78	77,1
35	58,3	58,9	58,3	56	60,2	67,7	78	77,1
40	58,5	59,3	58,7	56,3	61,1	68,3	78	77,3
45	58,7	59,5	59,1	57,1	62,3	69,2	78	77,3
50	59	59,7	59,3	57,4	62,6	69,7	78	77,4
55	59,4	60	59,6	58,4	64,5	69,7	78	77,4
60	59,9	60,3	60	58,7	64,8	70,5	78	77,4
65	60,2	60,6	60,4	59,2	65	70,8	78	77,4
70	60,5	60,8	60,7	59,5	65,4	70,8	78	77,3
75	61	61	61,2	59,8	65,5	70,9	78	77,4
80	61,5	61,4	61,7	60,2	65,9	71,1	78	77,4
85	62	61,8	62,3	60,6	66,1	71,1	78	77,4
90	62,6	62,3	62,9	60,9	66,3	71,1	78	77,5
95	63,1	63	63,5	61,2	66,4	71,2	78	77,5
100	63,7	63,5	64,4	61,3	66,4	71,3	78	77,6
105	64,1	65,9	66,4	61,7	66,8	71,3	78	77,7
110	64,3	66,8	67	61,8	66,8	71,5	78	77,7
115	64,7	67	67,3	61,9	66,9	71,5	78	77,8

Ek 2.4. Palmitik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 78°C ve suyun akış debisi: 6 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	78	76,9
5	53,1	53,6	53,4	53,3	55,3	56,3	78	76,9
10	55,8	56,2	56,2	55,7	58	60,6	78	76,9
15	57,5	57,9	57,5	56,3	59,3	63,8	78	77
20	58,5	58,7	58	56,9	61,3	67,5	78	77
25	59	59,4	58,6	57,7	63,1	69,1	78	76,9
30	59,4	59,8	59	58,6	64,3	69,7	78	77
35	59,7	60	59,4	59,2	64,9	69,7	78	77
40	60,1	60,4	59,8	59,7	65,6	70,3	78	77,1
45	60,5	60,7	60,2	60,1	65,9	70,8	78	77,2
50	60,8	60,9	60,6	60,5	66,1	71,2	78	77,2
55	61,5	61,2	61,1	60,9	66,5	71,2	78	77,3
60	61,9	61,5	61,5	61,4	66,7	71,2	78	77,3
65	62,6	61,9	61,9	61,6	66,7	71,6	78	77,3
70	63	62,2	61,9	62,1	66,7	71,6	78	77,3
75	63,6	62,7	62,4	62,3	66,7	71,8	78	77,4
80	64	63,2	63	62,7	67,1	71,8	78	77,4
85	64,5	64	63,5	63	67,4	72	78	77,5
90	65,1	66	64,6	63,2	67,7	72,2	78	77,5
95	65,3	67,4	66,5	63,2	67,8	72,2	78	77,6
100	65,6	67,9	67,7	63,6	67,9	72,2	78	77,6
105	66	68	68	64	68,3	72,4	78	77,6
110	66,4	68,3	68,4	64,4	68,7	72,8	78	77,7
115	66,8	68,7	69,1	64,8	69,1	73,2	78	77,8

Ek 2.5. Palmitik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksel noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 76°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	76	74,6
5	51,8	51,6	51	51,1	51,4	55,6	76	74,6
10	53,6	53,4	52,3	52	52,5	60,7	76	74,6
15	55,4	55,2	53,2	52,9	53,1	62,4	76	74,7
20	56,4	56,1	54,3	53,7	53,9	64,3	76	74,7
25	57,1	57,2	55,4	54,3	54,6	65,9	76	74,8
30	57,7	57,9	56,3	55	55,1	66,8	76	74,9
35	58,1	58,5	57	55,5	56,2	67,7	76	74,9
40	58,5	58,8	57,7	55,9	56,9	68,4	76	74,9
45	58,7	59,1	58	56,1	57,8	69,2	76	75,1
50	58,9	59,3	58,3	56,2	58,9	69,6	76	75,1
55	59	59,6	58,6	56,5	59,9	69,8	76	75
60	59,3	59,8	58,8	57,1	60,8	69,9	76	75,1
65	59,6	60	59,2	58,1	61,8	70	76	75,2
70	59,8	60,2	59,5	58,5	63	70,1	76	75,3
75	60,1	60,5	59,7	58,7	63,8	70,3	76	75,3
80	60,3	60,7	60	59,1	64,2	70,4	76	75,4
85	60,6	60,9	60,3	59,4	64,4	70,4	76	75,5
90	60,9	61	60,7	59,6	64,5	70,4	76	75,5
95	61,2	61,2	61	59,7	64,7	70,5	76	75,4
100	61,4	61,4	61,5	60,1	65,1	70,5	76	75,3
105	61,9	61,9	62	60,6	65,7	70,6	76	75,4
110	62,4	62,5	62,6	61,4	66,1	70,7	76	75,5
115	62,7	63,1	63,4	62,2	66,5	70,7	76	75,6

Ek 2.6. Palmitik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 80,5°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	50	50	50	50	80,5	79
5	51,9	53,1	53,6	50,8	52,1	54,1	80,5	78,9
10	53,1	55,8	56	53,4	54,3	57,6	80,5	78,9
15	55,5	58,2	58,4	55,3	55,2	60,4	80,5	79
20	57,3	59	59	56,6	56,7	60,7	80,5	79,1
25	58,6	59,6	59,7	58,2	58,3	66,7	80,5	79,2
30	59,1	60,2	60,7	59,5	62,6	70,7	80,5	79,3
35	60	60,7	61,5	60,4	64,7	71,2	80,5	79,4
40	60,9	61,3	62,2	61	66,1	72	80,5	79,5
45	61,6	61,7	63,1	61,7	66,5	72,3	80,5	79,5
50	62,7	62,2	63,9	62,2	67	72,5	80,5	79,5
55	63,2	63,1	64,9	62,7	67,5	72,7	80,5	79,6
60	63,9	66,4	67,6	63,3	67,8	72,9	80,5	79,7
65	65,3	67,8	68,2	63,5	68	73	80,5	79,8
70	65,8	68,8	68,9	63,8	68,4	73,3	80,5	79,9
75	66,4	69,1	69,2	64	68,5	73,3	80,5	80,1
80	66,6	69,4	69,4	64,3	68,8	73,5	80,5	80,2

Ek 2.7. Palmitik asit için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 80,5°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *yatay* konumda)

Zaman (dak.)	T5(°C)	T6(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	50	50	80,5	79,2
5	52,4	52,8	80,5	79,1
10	54,5	54,3	80,5	79,2
15	55,2	55,5	80,5	79,3
20	55,9	56,4	80,5	79,4
25	57,7	57,8	80,5	79,5
30	58,6	58,2	80,5	79,5
35	59,3	59,4	80,5	79,6
40	59,8	59,9	80,5	79,7
45	60,3	60,4	80,5	79,8
50	60,8	60,9	80,5	79,9
55	61,3	61,4	80,5	80,1
60	61,7	61,8	80,5	80,1
65	62	62	80,5	80,2
70	62,3	62,4	80,5	80,2
75	62,6	62,7	80,5	80,2
80	62,9	63	80,5	80,2

Ek 2.8. Palmitik asit için *katılama* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 42°C ve suyun akış debisi: 3 kg/dak., ısı değiştirici *yatay* konumda)

Zaman (dak.)	T5(°C)	T6(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	62,9	63	42	42,1
5	60,5	60,7	42	42,2
10	59,4	59,7	42	42,1
15	58,5	58,9	42	42
20	57,6	58,2	42	42
25	57	57,5	42	42
30	55,8	56,9	42	42
35	54,9	56,3	42	41,9
40	54,1	55,8	42	41,9
45	53,4	55,3	42	41,9
50	52,7	54,8	42	41,9
55	51,3	54,3	42	41,8
60	50,6	53,9	42	41,8
65	50	53,6	42	41,7
70	50	53,3	42	41,8
75	49,5	53,1	42	41,7
80	49,1	52,8	42	41,7

Ek 2.9. Palmitik asit için *katılaşma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 38°C, suyun akış debisi: 1,2 kg/dak. ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	63,3	63	63,7	61,7	67,3	71,9	38	38,4
5	59	60,7	60,4	56,3	60,9	65,1	38	38,4
10	57,7	60	59,9	54,2	58,2	61,9	38	38,3
15	56	59,2	59,5	52,6	56,9	61,1	38	38,3
20	53,9	57,9	58,8	50,5	55,5	60,7	38	38,4
25	52	56,7	58,2	48,8	54,4	60,1	38	38,2
30	50,4	55,4	57,5	47,5	53,4	59,5	38	38,2
35	48,9	54	56,8	46,1	52,1	58,8	38	38,1
40	47,3	52,5	55,9	44,8	50,7	58	38	38,1
45	45,8	51,1	55	44,4	49,1	57	38	38
50	44,7	49,8	54,1	42,6	47,5	55,7	38	38
55	43,5	48,4	52,7	41,4	46,1	53,9	38	38
60	42,5	47,4	51,7	40,6	45,8	52,1	38	38
65	41,6	46,5	50,8	40	44	50,5	38	38
70	41	45,7	50	39,3	42,7	49,1	38	38
75	40,7	45,1	49	39	42,3	48,3	38	37,9
80	40,4	44,6	47,9	38,5	41,8	47,5	38	37,9

Ek 2.10. Palmitik asit için *katılaşma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 38°C, suyun akış debisi: 2,5 kg/dak. ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	65	67,4	67,5	62,4	67	71,5	38	38,4
5	57,9	64,5	65,4	57,6	62,9	68,4	38	38,4
10	55,6	60,7	60,8	54,4	58,8	65,2	38	38,3
15	53,9	59,3	59,5	52,2	56,7	63,2	38	38,2
20	52,6	58,2	59	50,4	55,6	60,8	38	38,2
25	51,2	57,4	58,6	49,3	54,8	60,4	38	38,2
30	49,6	56,4	58,1	48	53,8	59,9	38	38,2
35	48,7	55,1	57,4	46,5	52,6	59	38	38,1
40	47,6	54,2	56,8	45,6	51,6	58,3	38	38,1
45	46,6	53,3	56,2	44,8	50,6	57,2	38	38,1
50	46,1	52,3	55,5	44,1	49,7	55,2	38	38,1
55	45,2	51,7	55	43,5	48,7	53,3	38	38,1
60	44,6	50,7	54,3	42,7	47,6	50,7	38	38
65	44	50,1	53,6	42,1	46,8	49	38	38
70	43,4	49,4	52,8	41,2	45,8	47,9	38	38
75	42,7	48,9	52,2	39,3	44,8	46,8	38	37,9
80	42	48	51,4	38,4	43,6	45,6	38	37,9

Ek 2.11. Palmitik asit için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 38°C, suyun akış debisi: 3 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	65	67,6	67,6	62,1	67,1	71,7	38	38,5
5	60,7	63,4	63,6	58,2	63,5	68,4	38	38,5
10	58,3	60,6	60,5	55,1	59,3	63,4	38	38,4
15	56,5	59,7	59,8	53,5	57,4	61,4	38	38,4
20	54,6	58,6	59,4	51,7	56,3	61	38	38,3
25	52,8	57,7	58,8	50	55,4	60,5	38	38,3
30	51,6	57	58,4	48,8	54,2	59,6	38	38,2
35	50,6	55,8	57,9	47,7	53,3	58,6	38	38,2
40	49,6	54,9	57,3	46,7	52,4	57,6	38	38,1
45	48,4	54,1	56,8	45,8	51,5	56,3	38	38,2
50	47,4	53,1	56,2	45	50,6	55,3	38	38
55	46,7	52,4	55,6	44,2	49,6	54,3	38	38,1
60	45,7	51,4	54,8	43,3	48,2	53,3	38	38
65	45	50,6	54,1	42,6	47,4	52,1	38	37,9
70	44,3	49,9	53,5	42	46,1	51,1	38	37,9
75	43,6	49,1	52,7	41,4	45,1	49,9	38	37,8
80	42,7	48,1	51,8	40,7	43,7	48,5	38	37,8

Ek 2.12. Palmitik asit için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 38°C, suyun akış debisi : 6 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	66,8	68,7	69,1	64,8	69,1	73,2	38	38,4
5	59,8	62,5	63,1	57	62,4	67,6	38	38,4
10	57,9	60,3	60,3	54,3	58,7	62,9	38	38,3
15	55,9	59,5	59,5	52,4	56,9	61,2	38	38,2
20	54	58,3	59	50,3	55,9	60,9	38	38,2
25	52,1	57,2	58,5	48,7	54,4	60,3	38	38,2
30	50,2	55,9	57,9	47,3	53	59,7	38	38,1
35	49,2	54,8	57,3	46	51,5	59	38	38
40	47,8	53,8	56,6	44,8	49,9	58,2	38	38
45	46,7	52,7	55,9	43,8	48,6	57	38	38
50	45,4	51,5	55	42,6	47,2	54,7	38	38
55	44,6	50,5	54,4	42	46,4	52,5	38	38
60	43,8	49,5	53,8	41,4	46,8	51	38	37,9
65	43	48,6	53,2	40,8	46	49,5	38	37,8
70	42,3	47,8	52,6	40,2	45,3	48,4	38	37,8
75	41,7	46,4	52	39,7	44,7	47,6	38	37,7
80	41,1	45,7	51,5	39,2	43,4	47	38	37,6



Ek 2.13. Palmitik asit için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 38°C, suyun akış debisi: 2,5kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	65	67,4	67,5	62,4	67	71,5	42	42,4
5	63,8	62,2	62,2	60,6	63,3	65,6	42	42,3
10	61,4	61,5	61	59,2	60,1	63,1	42	42,3
15	57,5	59,7	59,6	54,5	58,2	61,1	42	42,2
20	55,5	58,6	59	52,5	56,7	60,8	42	42,2
25	53,5	57,3	58,4	50,2	55,7	60,2	42	42,1
30	51,5	55,6	57,7	48,5	53,9	59,8	42	42,1
35	49,4	53,8	56,8	47,3	52,6	59	42	42,1
40	48,1	52,5	56	45,5	51	59	42	42
45	46,2	50,3	56	44,2	49,3	57,8	42	42
50	45,8	49,9	54,5	43,6	48,5	57,2	42	42
55	44,9	48,7	54,1	43,1	47,4	55,8	42	41,9
60	44,1	47,6	53	42,7	46,4	55,4	42	41,9
65	43,4	46,6	52	42,4	45,5	55	42	41,9
70	42,9	45,7	51,9	42,2	44,6	54,6	42	41,8
75	42,4	44,8	51	42,1	43,6	54,2	42	41,8
80	42	44	50,2	42	42,9	53,8	42	41,8

Ek 2.14. Palmitik asit için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 47°C, suyun akış debisi:2,5 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	66,8	69,1	69,1	62,4	67	71,5	47	47,4
5	63,9	64,4	64,8	60,6	63,3	65,6	47	47,3
10	59,4	62,3	63	59,2	60,1	63,1	47	47,3
15	57,4	60,3	60,5	54,5	58,2	61,1	47	47,3
20	56,1	59,6	59,8	52,5	56,7	60,8	47	47,3
25	54,8	59	59,4	50,2	55,7	60,2	47	47,3
30	54,3	58,2	59,1	48,5	53,9	59,8	47	47,3
35	53,1	57,6	58,7	47,3	52,6	59	47	47,3
40	52,2	56,8	58,3	45,5	51	59	47	47,2
45	51,7	56,3	58,1	44,2	49,3	57,8	47	47,1
50	50,5	55,1	57,4	43,6	48,5	57,2	47	47,1
55	49,8	54,7	57,1	43,1	47,4	55,8	47	47
60	49,7	54,3	56,9	42,7	46,4	55,4	47	47
65	49,2	53,8	56,7	42,4	45,5	55	47	47
70	48,7	53,3	56,4	42,2	44,6	54,6	47	46,9
75	48,3	52,9	56,2	42,1	43,6	54,2	47	46,8
80	47,9	52,5	56	42	42,9	53,8	47	46,7

**Ek 3. Miristik Asit + Stearik Asit (% 65,7 + % 34,3) Ötektik Karışımının Faz Değişim Deneylerine Ait Sıcaklık Bulguları**

Ek 3.1. Miristik asit + Stearik asit (%65,7+%34,3) ötektik karışımı için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve eksenel noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 68°C, suyun akış debisi: 1 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	40	40	40	40	40	40	68	66,5
5	42,1	41,8	42,4	41,4	45,9	44,2	68	66,6
10	43,1	42,6	42,9	43,3	48,3	48,4	68	66,7
15	44,9	43,5	43,8	46	51,1	52,3	68	66,8
20	46,2	44,3	44,6	47	51,5	54	68	66,8
25	48,2	45,6	45,8	48,7	52,7	56,4	68	66,9
30	49,8	48,8	49,2	49,9	54,1	57,6	68	66,9
35	51,7	52,9	52,3	51,4	54,1	58,2	68	66,9
40	52,4	54,4	54,6	51,3	55,3	58,4	68	66,9
45	52,6	54,7	54,9	51,3	55,3	58,4	68	66,9
50	53,3	55,2	55,4	51,8	55,7	58,7	68	66,9
55	54,3	56,3	56,6	52,7	56,5	59,4	68	66,9
60	55,2	57,2	57,4	53,4	57	59,7	68	67
65	56,6	58	58,2	54	57,7	60,3	68	67,1
70	57,3	58,8	58,8	54,7	58,4	60,8	68	67,1
75	58	59,6	59,4	55,2	59,1	61,2	68	67,2

Ek 3.2. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7 + %34,3) ötektik karışımı için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 68°C, suyun akış debisi:1,3 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	40	40	40	40	40	40	68	66,5
5	41,9	40,9	41,1	41,4	43,7	45,6	68	66,6
10	42,7	41,7	42	42,9	45,2	50,9	68	66,6
15	44,2	42,7	43	45,7	50,4	55,7	68	66,7
20	45,6	43,43	43,9	47,1	52,6	57,3	68	66,7
25	47,4	44,9	45,1	48,6	53,5	57,5	68	66,7
30	48,7	45,9	46,2	49,3	54,1	58,1	68	66,7
35	50	47,2	47,4	50,3	54,7	58,4	68	66,7
40	51	49,4	49,7	50,8	55	58,6	68	66,7
45	51,7	53,6	53,8	51,3	55,4	58,8	68	66,7
50	52,3	54,5	53,5	51,5	55,6	59	68	66,8
55	53,1	55,3	55,5	51,8	56	59,1	68	66,9
60	53,4	55,6	55,7	52,2	56,1	59,4	68	66,9
65	54	56,2	56,4	52,5	56,5	59,6	68	67
70	54,4	56,6	56,8	52,9	56,9	59,9	68	67,1
75	55,1	57,3	57,7	53,5	57,4	60,4	68	67,2
80	55,9	57,5	57,8	54,2	57,9	60,8	68	67,2
85	56,6	58,7	58,1	54,6	60,3	60,9	68	67,2
90	57,3	59,5	59,3	55,4	61,3	61,7	68	67,3

Ek 3.3. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7 + % 34,3) ötektik karışımı için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 68°C, suyun akış debisi: 2 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	40	40	40	40	40	40	68	66,6
5	41,7	40,9	41,2	41,3	42,3	45,8	68	66,7
10	42,9	42	40,1	43,2	47,7	50,9	68	66,7
15	44,3	42,8	43,1	45,9	52,1	53,5	68	66,7
20	45,9	43,9	44,2	47,6	53,4	57,5	68	66,7
25	47,7	45	45,2	49	54,2	58,5	68	66,8
30	49,8	46,2	46,5	50,4	55,4	59,3	68	66,8
35	51	47,8	48,1	51,4	55,8	59,2	68	66,8
40	52,6	52,1	52,3	52,3	56,7	60,1	68	66,8
45	53,2	53	53,2	52,6	56,9	60,1	68	66,9
50	53,9	55,9	56,1	52,9	57,2	60,3	68	66,9
55	54,6	56,6	56,9	53,4	57,5	60,6	68	67
60	54,7	56,9	57,2	53,5	57,6	60,7	68	67,1
65	55	57,2	57,4	53,7	57,7	60,7	68	67,2
70	55,7	57,8	58	54,2	58,2	61,1	68	67,3
75	56,5	58,5	58,7	54,8	58,9	61,3	68	67,3

Ek 3.4. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7 + % 34,3) ötektik karışımı için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 68°C, suyun akış debisi: 2,5 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	40	40	40	40	40	40	68	66,5
5	41,4	42	42,4	41,3	45,6	47,4	68	66,5
10	45,7	44,3	44,5	46,4	49,7	52,3	68	66,6
15	48,8	46,2	46,4	48,7	51,8	54,9	68	66,7
20	50,7	48,7	49	50,6	53,9	57,7	68	66,7
25	52	53,8	54,1	51,6	55,7	58,7	68	66,8
30	53,1	54,8	55	52,1	56,2	59,4	68	66,8
35	53,7	55,7	55,9	52,3	56,5	59,5	68	66,9
40	54	56	56,3	52,5	56,9	59,9	68	66,9
45	54,3	56,5	56,6	53	57,1	60	68	67
50	54,5	57	56,9	53,5	57,5	60,6	68	67
55	55,4	57,4	57,6	54	58	60,8	68	67,1
60	56,2	58,5	58,5	54,4	58,6	61,4	68	67,1
65	57,2	59,1	59,4	55,4	59,1	61,5	68	67,2
70	57,6	59,8	59,8	55,9	59,8	61,9	68	67,3
75	57,3	60,5	60,2	56,4	60,4	62,4	68	67,4

Ek 3.5. Miristik asit + Stearik asit (%65,7+%34,3) ötektik karışımı için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 70°C, suyun akış debisi: 1,3 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	40	40	40	40	40	40	70	68,5
5	42	41,5	41,8	42,5	44,2	44,6	70	68,5
10	43,7	42,6	42,9	44,8	47,4	48,9	70	68,6
15	45	43,3	43,6	46	51	54,7	70	68,6
20	46,2	44,3	44,6	47,1	52	55,2	70	68,7
25	47,6	45,2	45,5	48,5	52,9	56,4	70	68,8
30	48,5	45,9	46,2	48,9	53,2	56,7	70	68,8
35	49,7	47,3	47,5	50	53,8	57,1	70	68,9
40	50,6	49,3	49,5	50,3	54,2	57,3	70	68,9
45	50,9	52,1	52,3	50,4	54,3	57,3	70	68,9
50	51,7	53,6	53,9	51,1	54,8	57,7	70	69
55	52,1	53,9	54	51,1	55	57,8	70	69
60	52,3	54,1	54,3	51,3	55	57,8	70	69
65	53	54,4	54,7	51,6	55,3	58,1	70	69
70	53,4	54,8	55,1	52	55,7	58,4	70	69,1
75	53,8	54,9	55,4	52,5	55,9	58,6	70	69,1

Ek 3.6. Miristik asit +Stearik asit (%65,7+%34,3) ötektik karışımı için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 65°C, suyun akış debisi: 1,3 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	40	40	40	40	40	40	65	63,5
5	42,9	43,3	43,7	42,7	46,1	47,8	65	63,5
10	46,1	44,4	44,8	47	52	54,9	65	63,6
15	48,3	45,7	45,9	49	53,7	57,7	65	63,7
20	50,8	48	48,4	51	55,4	59,1	65	63,7
25	52	52,2	52,5	51,7	56,3	59,3	65	63,7
30	53,1	54,8	55,1	52,4	56,5	59,9	65	63,8
35	53,7	55,5	55,8	52,5	56,7	59,9	65	63,8
40	54,3	56	56,3	53	57,1	60,3	65	63,8
45	55	56,7	57	53,6	57,4	60,5	65	63,8
50	55,3	57,3	57,6	53,9	57,8	61	65	63,9
55	56,1	57,9	58,1	54,3	58,1	61,1	65	63,9
60	56,7	58,5	58,8	54,8	58,5	61,5	65	63,9
65	57,2	59,2	59,3	55,3	59	61,9	65	64
70	57,8	59,8	59,9	55,8	59,4	62,3	65	64
75	58,4	60,4	60,6	56,4	59,8	62,7	65	64,1

Ek 3.7. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7 + % 34,3) ötektik karışımı için *erime* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 68°C, suyun akış debisi: 1,3 kg/dak., ve ısı değiştirici *yatay* konumda)

Zaman (dak.)	T5(°C)	T8(°C)	t <sub>su gir.</sub>	t <sub>su çık.</sub>
0	40	40	68	66,5
5	41,1	42	68	66,5
10	42,2	47,6	68	66,6
15	43	52	68	66,6
20	44,1	53,1	68	66,6
25	45,2	53,1	68	66,7
30	46,5	54	68	66,8
35	48,2	55,1	68	66,9
40	52,4	56,5	68	66,9
45	53,5	56,4	68	66,9
50	55,9	56,9	68	66,9
55	56,8	57,2	68	67
60	57,4	57,7	68	67,1
65	57,8	58,2	68	67,2
70	58,2	58,9	68	67,2
75	58,9	59,3	68	67,3

Ek 3.8. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7 + % 34,3) ötektik karışımı için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 39°C, suyun akış debisi:1 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	56,6	58	58,2	54	57,7	60,3	39	39,3
5	54,8	54,5	57,9	52,3	56	58,6	39	39,3
10	52	48,7	54,9	50,5	54,2	57,1	39	39,2
15	47,2	47	49	45,9	49	51,5	39	39,2
20	45,2	44,7	47,2	44	46,5	48,6	39	39,2
25	43,8	43,6	45	42,4	44,6	46,3	39	39,1
30	42,2	42,6	43,8	41,2	43,1	44,6	39	39,1
35	41,1	41,8	42,6	40,2	41,9	43,3	39	39,1
40	40,7	41,2	42	39,9	41,2	42,7	39	39
45	40	40,8	41,4	39,5	40,6	42,2	39	39
50	39,7	40,5	41	39,4	40,1	41,8	39	39
55	39,5	40,2	40,7	39,4	39,8	41,5	39	39
60	39,5	39,9	40,1	39,1	39,3	41	39	38,9

Ek 3.9. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7 + % 34,3) ötektik karışımı için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı : 39°C, suyun akış debisi:1,3 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	57,3	59,5	59,9	56,4	59,8	62,7	39	39,5
5	56	57,9	58,3	54,3	58	60,7	39	39,5
10	53,8	56	56,9	52	55,2	57,7	39	39,4
15	48,4	50,4	50,7	48,5	51,6	54,6	39	39,4
20	45,8	47,6	47,9	44,9	47,8	49,6	39	39,4
25	43,4	45,6	45,7	42,9	44,9	47	39	39,4
30	41,7	45,4	43,3	40,8	43	45	39	39,3
35	40,9	43,4	42,6	40	41,5	43	39	39,3
40	40,1	42,4	41,9	39,1	40,8	42,1	39	39,2
45	39,8	41,4	40,9	39,1	40,3	41,3	39	39,1
50	39,8	40,9	40,9	39,1	40,1	41,1	39	39,1
55	39,7	40,5	40,6	39	40,1	41	39	39
60	39,2	40	40,2	39	40	40,9	39	39

Ek 3.10. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7+% 34,3) ötektik karışımı için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı: 39°C, suyun akış debisi:2 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	56,5	58,5	58,7	54,8	58,7	58,9	39	39,6
5	54,1	54,3	56,8	51,7	56,8	57,1	39	39,5
10	52,2	52,8	55,1	49,6	55,3	55,7	39	39,5
15	49,2	50,2	53,1	47,8	52,9	53,5	39	39,4
20	45,2	48,8	50,5	44,8	49,9	52,5	39	39,4
25	43,4	45,9	48,8	42,9	45,1	49,6	39	39,4
30	42,2	45	46,2	42	43,7	47,1	39	39,4
35	41,5	44,3	45,4	41,1	42,4	44,8	39	39,3
40	40,8	43,6	44,7	40,4	41,9	44,2	39	39,2
45	40,3	43,1	44	39,9	41,1	43,5	39	39,2
50	39,9	42,6	43,5	39,6	40,4	43,5	39	39
55	39,7	42	43	39,4	40	42,9	39	39
60	39,4	41,4	42,6	39,2	39,5	42,5	39	39

Ek 3.11. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7+%34,3) ötektik karışımı için *katılma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı : 42°C, suyun akış debisi:1,3 kg/dak., ve ısı değiştirici *dikey* konumda)

Zaman (dak.)	T4(°C)	T5(°C)	T6(°C)	T7(°C)	T8(°C)	T9(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	57,3	59,5	59,3	55,4	61,3	61,7	42	42,4
5	53,4	56,4	55,7	53,8	58,6	59,8	42	42,4
10	51,1	55,5	53,3	51,8	55,3	58,1	42	42,3
15	49,1	53	51,2	50,3	52,6	55	42	42,3
20	47,5	50,8	49,1	49,8	51,3	52,3	42	42,2
25	46,3	48,9	48,1	49,2	48,7	50,7	42	42,2
30	45,5	47,9	47,2	47,3	47,3	49	42	42,2
35	44,7	47	46,6	45,5	46,5	48,3	42	42,2
40	44,1	46,4	45,8	43,6	45,7	47,3	42	42,1
45	43,7	45,6	45,1	42,9	45,1	46,4	42	42,1
50	43,3	44,9	44,7	42,6	44,5	45,7	42	42,1
55	43	44,4	44,3	42,3	44,1	45,3	42	42
60	42,7	44	44	42,1	43,8	45	42	41,9

Ek 3.12. Miristik asit + Stearik asit (% 65,7+% 34,3) ötektik karışımı için *katılaşma* periyoduna ait farklı radyal ve aksenal noktalardan okunan sıcaklık değerleri (suyun giriş sıcaklığı : 42°C, suyun akış debisi:1,3 kg/dak., ve ısı değiştirici *yatay* konumda)

Zaman (dak.)	T5(°C)	T8(°C)	T <sub>Su gir.</sub>	T <sub>Su çık.</sub>
0	58,5	59,6	42	42,3
5	55,9	56,3	42	42,3
10	53,8	53,7	42	42,3
15	53	53,6	42	42,2
20	50,1	50,4	42	42,2
25	48,4	48,6	42	42
30	45,7	45,9	42	42
35	44,8	45	42	42
40	44,1	44,4	42	41,9
45	43,5	43,8	42	41,9
50	43	43,3	42	41,8
55	42,4	42,6	42	41,8
60	42	42,3	42	41,7



## ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Trabzon'un Arsin İlçesi'nin Işıklı Köyünde doğdu. İlk ve ortaokulu aynı köyde bitirdi. 1989 yılında Trabzon Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinden mezun oldu ve aynı yıl üniversite sınavını kazandı. 1993 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden fakülte ve bölüm ikincisi olarak mezun oldu. 1994 yılında ÖSYM tarafından açılan YLS sınavını kazanarak Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya bilim dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1996 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümü Fizikokimya Bilim dalında Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıl Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümü Fizikokimya bilim dalında doktora öğrenimine başladı. Halen aynı Üniversitenin aynı bölüm ve bilim dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.