

**NANO BOYUTLU PARÇACIK KATKILI YENİ NESİL FAZ
DEĞİŞTİREN MADDELERİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Ali TAŞKIRAN

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP**

HAZİRAN - 2013

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO BOYUTLU PARÇACIK KATKILI YENİ NESİL FAZ DEĞİŞTİREN
MADDELERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali TAŞKIRAN

Enstitü No: 101119103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11.06.2013

Tezin Savunulduğu Tarih: 26.06.2013

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü.)

Doç. Dr. Ahmet KOCA (F.Ü.)

HAZİRAN - 2013

ÖNSÖZ

Çalışmanın her aşamasında bana destek veren, yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP ve yardımlarından dolayı Doç. Dr. Ahmet KOCA'ya saygılarımı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, büyük ilgi ve anlayışıyla her türlü problemin üstesinden gelmemde bana yardımcı olan, sabırla beni dinleyip olumlu yönlendirmeleriyle yanımda olan manevi danışmanım ve arkadaşım doktora öğrencisi Mert GÜRTÜRK'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda, Makine Eğitimi Enerji Laboratuvarında her zaman beraber çalıştığım tüm arkadaşlara bana göstermiş olduğu desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında, TÜRKİYE BİLİMSEL ve TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU (TÜBİTAK) tarafından 111M063 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı tüm çalışanlara teşekkür ederim.

Çalışmanın kimyasal kısmında bana yardım eden, Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Arş. Gör. Zuhale KARAGÖZ ve yüksek lisans öğrencisi Süreyya Şeyma ACAR'a teşekkür ederim.

Hayatımın her safhasında maddi-manevi, destek, anlayış, saygı ve dualarını eksik etmeyen aileme ve ev arkadaşlarıma teşekkür ederim.

**Ali TAŞKIRAN
ELAZIĞ – 2013**

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	XIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIV
KISALTMALAR	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Termal Enerji ve Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED)	2
1.1.1. Duyulur Isı Depolama Yöntemi	3
1.1.2. Termokimyasal Isı Depolama Yöntemi	4
1.1.3. Gizli Isı Depolama Yöntemi	5
1.2. Isı Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması	7
1.3. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)	8
1.3.1. Termodinamik Kriterler	9
1.3.2. Fiziksel Kriterler	10
1.3.3. Kimyasal Kriterler	10
1.3.4. Ekonomik Kriterler	10
1.4. FDM Termal Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar	12
1.5. FDM'nin Termal Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar	15
2. MATERYAL ve METOT	21
2.1. Kullanılan FDM ve Nanoparçacıkların Termal Özelliklerinin Belirlenmesi	21
2.1.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Tekniği	22
2.1.2. Termal İletkenliğin Ölçülmesi	24
2.1.3. Termal Çevrim (PCR)	25
2.1.4. Taramalı Elektron Mikroskobu	27
2.1.5. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre	29
2.1.6. X Işını Kırınımı	30
2.2. Denet Setinin İmalatı	31
3. BULGULAR	41
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR	87
5. ÖNERİLER	89

6.	KAYNAKLAR	90
7.	EKLER	96
	ÖZGEÇMİŞ.....	139

ÖZET

Isıl enerjinin depolaması; enerji üretim ve tüketimi arasındaki zaman gecikmesi, enerji güvenliği, ısı atalet gibi mühendislik problemlerinin çözümünde oldukça önemlidir. Çünkü enerji talebi gün geçtikçe ve artmakta buna paralel olarak enerji üretimi, tüketimi karşılayacak yönde yeterince artış göstermemektedir. Bu nedenle, enerji güvenliğinin sağlanmasında alternatif enerji kaynakları ve enerji depolama teknikleri üzerine yapılan çalışmalar son zamanlarda artmıştır. Faz Değiştiren Maddeler (FDM), yıllardan beri farklı ısı sistemlerde, ısı enerji depolama elemanı olarak kullanılmaktadır.

Bu tezde, ısı iletkenlikleri iyi olan metal ya da metal oksit nanoparçacıkları, ısı iletkenlikleri kötü olan ötektik FDM içerisine ilave edilerek, Nanoparçacık Katkılı Faz Değiştiren Madde (NPKFDM) hazırlanmıştır. FDM olarak, miristik asit (%90) ve tiyosinamin (%10) kullanarak ötektik bir karışım elde edilmiştir. NPKFDM'nin termal iletkenliğini artırmak için nanoparçacık olarak bakıroksit (%1) kullanılmıştır. Kullanılan ötektik FDM ve NPKFDM'nin termal özellikleri, DSC, SEM, FT-IR, XRD, PCR ve KD2 Pro cihazları ile belirlenmiştir. Ötektik FDM ve NPKFDM'nin erime noktası ve termal iletkenliği sırasıyla, 55.61 °C, 56.66 °C ve 0.1 W/m°C, 0.11 W/m°C olarak bulunmuştur.

Hazırlanan ötektik FDM ve NPKFDM silindirik bir depo içerisinde erime/katılaşma süreçleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyde, farklı sıcaklıklarda (erime için; 77, 75, 73 ve 70 °C, katılaşma için; 20 ve 25 °C) ve farklı debilerde (2, 3, 4 kg/dk) çalışılmıştır. Deneysel sonuçlar, erime ve katılaşma zamanının NPKFDM'nin ötektik FDM'ye göre %12.5 ile %63 ve %27 ile %33 oranında azaldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: FDM, Nanoparçacıklar, Termal enerji depolama, Isıl özellikler.

SUMMARY

Experimental investigation of nanoparticle additives novel phase change materials

Thermal energy storage is very important for solving engineering problems such as the time delay between production and consumption of energy, energy security and thermal inertia. Because the demand for energy is increasing day by day concordantly energy production, consumption, enough to meet the direction does not show an increase. Therefore, alternative energy sources ensuring energy security and energy storage techniques have increased recently. Phase change materials (PCM) are used for different thermal systems for many years a thermal energy storage element.

In this thesis, the metal or metal oxide nanoparticles with good thermal conductivity is poor in PCM by the addition of eutectic PCM, nanoparticle additive phase change materials (NPAPCM) were prepared. As PCM, myristic acid (90%) and thiosinamine (10%) was obtained by using the eutectic mixture. To increase the thermal conductivity of NPAPCM's was used as copper oxide nanoparticle (1%). Eutectic PCM and NPAPCM's used thermal properties was determined by DSC, SEM, FT-IR, XRD, PCR and KD2 Pro devices. Eutectic PCM and NPAPCM's melting point and thermal conductivity was found 55.61 °C, 56.66 °C and 0.1 W/m°C, 0.11 W / m°C, respectively.

Prepared eutectic PCM and NPAPCM melting and solidification process is investigated experimentally in a cylindrical tank. In the experiment, at different temperatures (in order to melting 77, 75, 73 and 70 °C, in order to solidification; 20 and 25 °C) and different flow rates (2, 3, 4 kg/min) was studied. Experimental results show that melting and solidification time NPAPCM's according to the eutectic PCM 12.5% with 63% and 27% with 33% decrease.

Key Words: PCM, Nanoparticles, Thermal energy storage, Thermal properties.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Isı depolanmasında uygulanan yöntemler	2
Şekil 2.1. FDM ve NPKFDM'nin termal özelliklerinin yapıldığı DSC cihazı	22
Şekil 2.2. Ultrasonik karıştırıcının gösterimi	23
Şekil 2.3. FDM ve NPKFDM'nin DSC eğrisi.....	24
Şekil 2.4. KD2 Pro Termal iletkenlik cihazı	25
Şekil 2.5. FDM ve NPKFDM'nin PCR sonucunun FT-IR gösterimi.....	26
Şekil 2.6. Termal çevrim sonucunda DSC'den alınan sonuçlar	27
Şekil 2.7. Numunelerin SEM görüntüleri.....	28
Şekil 2.8. NPKFDM ve FDM ötektik karışımın FT-IR spektrumu	29
Şekil 2.9. Ötektik FDM ve NPKFDM'nin XRD sonuçları	30
Şekil 2.10. Deney setinin şematik gösterimi	32
Şekil 2.11. Tüm ekipmanları ile birlikte deney seti.....	33
Şekil 2.12. FDM ve NPKFDM ünitenin ölçülendirilmesi	34
Şekil 2.13. Isıl çiftlerin depo içerisinde yerleştirilen yatay ve dikey noktalar	35
Şekil 2.14. 40 kanallı çoklayıcıya bağlanmış olan ısı çiftlerinin gösterimi	37
Şekil 2.15. KEITHLEY 2701 marka data-logger	37
Şekil 2.16. Soğuk su deposu ve iç yapısının gösterimi.....	38
Şekil 2.17. Sıcak su deposunun gösterimi.....	39
Şekil 2.18. Soğutucu ve tahliye borusunun gösterimi.....	39
Şekil 2.19. Sirkülasyon pompası, rotametre ve elektrik panosunun gösterimi	40
Şekil 3.1. Yatay olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	43
Şekil 3.2. Dikey olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	46
Şekil 3.3. Yatay olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	48
Şekil 3.4. Dikey olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	50

Şekil 3.5. Ötektik FDM ve NPKFDM'lerin içerisine yatay olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimlerinin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$).....	52
Şekil 3.6. Ötektik FDM ve NPKFDM'lerin içerisine dikey olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimlerinin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$).....	54
Şekil 3.7. Ötektik FDM'nin erime esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	57
Şekil 3.8. Ötektik FDM'nin erime esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	59
Şekil 3.9. NPKFDM'nin erime esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	61
Şekil 3.10. NPKFDM'nin erime esnasında dikey noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	63
Şekil 3.11. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	66
Şekil 3.12. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	68
Şekil 3.13. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	70
Şekil 3.14. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	72
Şekil 3.15. Ötektik FDM ve NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$).....	75
Şekil 3.16. Ötektik FDM ve NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$).....	77
Şekil 3.17. Ötektik FDM'nin katılaşma esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	79
Şekil 3.18. Ötektik FDM'nin katılaşma esnasında dikey noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	81

Şekil 3.19. NPKFDM'nin katılaşma esnasında dikey noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	84
Şekil 3.20. NPKFDM'nin katılaşma esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	86
Şekil B.1. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 77\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	102
Şekil B.2. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 77\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	103
Şekil B.3. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 77\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	103
Şekil B.4. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 77\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	104
Şekil B.5. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 77\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$).....	105
Şekil B.6. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 77\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$).....	105
Şekil B.7. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	106
Şekil B.8. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	107
Şekil B.9. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	107
Şekil B.10. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	108
Şekil B.11. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$).....	109
Şekil B.12. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$).....	109

Şekil B.13. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	110
Şekil B.14. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	111
Şekil B.15. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	111
Şekil B.16. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	112
Şekil B.17. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$).....	113
Şekil B.18. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$).....	113
Şekil B.19. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	114
Şekil B.20. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	115
Şekil B.21. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	115
Şekil B.22. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	116
Şekil B.23. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$).....	117
Şekil B.24. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$).....	117
Şekil B.25. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	118
Şekil B.26. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	119

Şekil B.27. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	119
Şekil B.28. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	119
Şekil B.29. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$).....	120
Şekil B.30. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$).....	120
Şekil B.31. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	121
Şekil B.32. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	121
Şekil B.33. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	122
Şekil B.34. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$)	123
Şekil B.35. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$).....	123
Şekil B.36. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$).....	124
Şekil C.1. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	125
Şekil C.2. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	126
Şekil C.3. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	126
Şekil C.4. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	127

Şekil C.5. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	128
Şekil C.6. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	128
Şekil C.7. Ötektik karışımın katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	129
Şekil C.8. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	130
Şekil C.9. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	130
Şekil C.10. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	131
Şekil C.11. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	131
Şekil C.12. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi $T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	132
Şekil C.13. Ötektik karışımın katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	133
Şekil C.14. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	133
Şekil C.15. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	134
Şekil C.16. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	135
Şekil C.17. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$)	135

Şekil C.18. Ötektik karışımın katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı	
çiftlerin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	136
Şekil C.19. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin	
zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	137
Şekil C.20. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin	
zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	137
Şekil C.21. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin	
zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	137
Şekil C.22. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki	
ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$,	
$\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	138
Şekil C.23. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki	
ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$,	
$\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$)	138

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Farklı ısı depolama yöntemleri arasındaki temel farklar	7
Tablo 1.2. Isı depolama yöntemlerinin karşılaştırılması	8
Tablo 2.1. Fiziksel analizlerin belirlenmesinde kullanılan FDM'ler	21
Tablo 2.2. Deneyde kullanılacak olan ötektik FDM ve NPKFDM'lerin termo fiziksel özellikler.....	24
Tablo 2.3. Ötektik FDM ve NPKFDM karışımların termal iletkenliklerini	25
Tablo A.1 FDM'lerin ötektik karışımlar için hazırlanan numunelerin DSC sonuçları	97
Tablo A.2 NPKFDM için hazırlanan numunelerin DSC sonuçları	100
Tablo A.3 Ötektik FDM ve NPKFDM için hazırlanan numunelerin termal iletkenlikleri.....	101

SEMBOLLER LİSTESİ

c_p	: Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)
c_k, c_s	: Sabit basınçta katı ve sıvı özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)
H_E	: Erime gizli ısı (kJ/kg)
$\dot{m}$	: Kütlesel debi (kg/dk)
T_o	: Başlangıç sıcaklığı (°C)
T_e	: Erime sıcaklığı (°C)
T_s	: Son sıcaklığı (°C)
$\dot{Q}$	: Depolanan ısı (W)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)
$\dot{v}$	: Hacimsel debi (m ³ /kg)

KISALTMALAR

CA	: Kaprik asit
CENG	: Sıkıştırarak genişletilmiş doğal grafit
CNF	: Karbon nanofiber
CNT	: Karbon nanotüp
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
EG	: Genişletilmiş grafit
EP	: Genişletilmiş perlit
FDM	: Faz değıştiren maddeler
FT-IR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre
GNF	: Grafit nanofiber
HCF	: Isı kapasite faktörü
HDPE	: Yüksek yoğunlukta polietilen
LA	: Laurik asit
MA	: Miristik asit
MSGF	: Mikro boyut grafit gevrek
MWNT	: Çok duvarlı nanotüp
NPKFDM	: Nanoparçacık katkılı faz değıştiren maddeler
PA	: Palmitik asit
PEG	: Polietilen glikol
SA	: Stearik asit
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TED	: Termal enerji depolama
TD	: 1-tetradecanol
TG, TGA	: Termo gravimetrik analiz
xGnP	: Pullu nanografit
XRD	: X ışınları analizi

1. GİRİŞ

Enerjinin uygun ve ekonomik kullanımı ile yeni enerji kaynakları bulmaya yönelik araştırmalar 1970'lerden beri giderek artmaktadır. Günüümüzde artan enerji ihtiyacı ve bunun yanında azalan enerji kaynakları, enerjide dışa bağımlılığın getirdiğı stratejik ve politik dezavantajlar, dünyada kullanılan enerjinin %90'nına yakını fosil kaynaklardan temin edilmesidir. Dünyadaki fosil rezervlerinin yaklaşık 50 yıl içinde tükenecek olması, konuyla ilgili tüm mühendis ve araştırmacıları yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmalarına neden olmuştur. Günüümüzde, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma için en önemli gereksinimlerinden biri olan enerjinin ucuz, temiz, güvenilir ve kolay elde edilebilen bir enerji kaynağı olması istenmektedir. Bu amaçla, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile etkin ve ucuz ısı depolama sistemlerinin geliştirilmesine yönelik yoğun araştırmalar sürdürölmektedir.

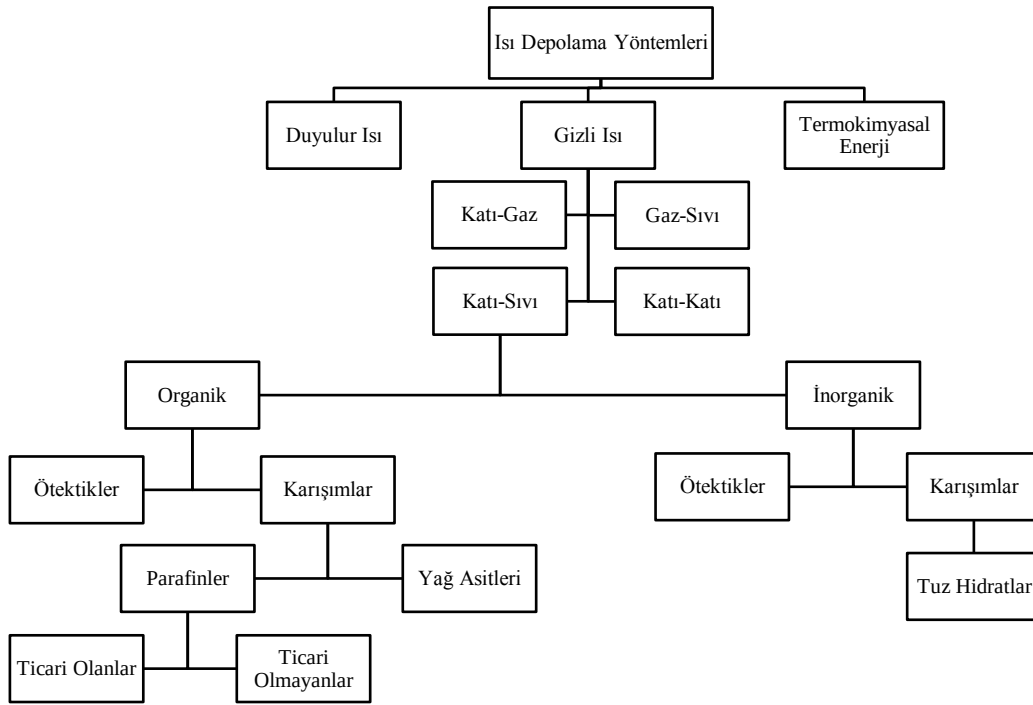
Enerji talebi gün geçtikçe artmakta buna paralel olarak enerji üretimi, tüketimi karşılayacak yönde yeterince artış göstermemektedir. Bu nedenle, enerji güvenliğinin sağlanmasında yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama teknikleri son derece önem arz eder. Uygun enerji depolama yöntemlerinden biri seçilerek enerji verimliliğı arttırılabilir. Yani enerji kaynağı değil mevcut enerjiyi verimli kullanmış oluruz. Faz değıştiren maddeler (FDM), yıllardan beri farklı ısı sistemlerinde, ısı enerji depolama elemanı olarak kullanılırlar. Bu maddeler, faz değışimi süresince gizli ısıнын büyük bir miktarını depo ederler ve güneş enerjisi sistemlerinde, binalarda ve daha birçok ısı sistemde, geniş bir sıcaklık aralığında kullanılırlar.

Faz değıştiren maddeler yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en popüler olanlardan biridir. Bunun nedeni, faz değıştiren maddeler son derece geniş bir uygulama yelpazesi içerisinde kolaylıkla uygulanabilir olmasıdır. Bir enerji depolama sisteminin verimli kullanımını sağlamanın en temel gerekliliklerinden biri; belirli bir sürede mümkün olan en fazla enerjiyi depolamaktır. Başka bir deyişle enerjinin fazla olduğı bir zamanda depolayarak gereksinim duyulan bir zamanda kullanıma sunabilmektir.

1.1. Termal Enerji ve Termal Enerji Depolama Yöntemleri (TED)

Termal enerji, bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır. Atomik veya moleküler titreşim sonucunda oluşur ve bu enerjinin aktarımı sıcaklık farkından kaynaklı ısı akışıyla gerçekleşir [1].

Isıl enerjinin düşük sıcaklıkta depolanması için genel olarak kullanılan yöntemler Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Katı-sıvı gizli ısı depolamadaki uygulamalar için gerek organik gerekse inorganik FDM’ler mevcuttur. Organik FDM’lerin dışındaki araştırmaların birçoğunda tuz hidratlar kullanılmıştır. Fakat diğer inorganik tuzların kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur.



Şekil 1.1. Isı depolanmasında uygulanan yöntemler [2].

Isı enerjisini depolamak için temelde üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar; duyulur ısı, gizli ısı ve termokimyasal ısı depolamalarıdır. Bu yöntemler, birim hacimde depolayabildikleri enerji bakımından ayrılırlar [3].

1.1.1. Duyulur Isı Depolama Yöntemi

Duyulur ısı depolama yönteminde, ısı depolayan materyalin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ısıdan yararlanılır. Isı depolama materyali olarak, sıcaklığı arttırıldığında duyulur ısı şeklinde ısı depolayabilen katı ve sıvı materyaller kullanılır. Duyulur ısı depolama materyallerinin birçoğu bol miktardadır ve ucuzdur. Ayrıca, bu materyallerden ısı depolamada yararlanılmak üzere geliştirilmiş olan mevcut teknoloji, etkin sistemlerin tasarlanması için uygundur. Bu nedenle, günümüzde birçok ısı depolama uygulamasında duyulur ısı depolama yönteminden yararlanılır [4]. Depolanabilecek ısı miktarı; ortamın ısı kapasitesine, sıcaklıktaki değişim miktarına ve depolama materyalinin miktarına bağlıdır [5].

Depolanan ısı miktarı aşağıdaki denklemden hesaplanır;

$$\dot{Q} = \int_{T_o}^{T_s} \dot{m} c_p dT = \dot{m} c_p (T_s - T_o) \quad (1.1)$$

Eşitlik de v (m^3) maddenin hacmi, ρ (kg/m^3) maddenin yoğunluğu ve c_p (kJ/kgK) sabit basınçtaki özgül ısıdır. Eşitlik belli bir hacimde ve ΔT sıcaklık farkında depolanacak ısı miktarı maddenin hacimsel özgül ısısı ($\rho.c_p$) ile orantılıdır [6].

Herhangi bir ısı depolama sisteminin uygulanabilirliği, esas olarak aşağıdaki etmenlere bağlıdır [6].

- Gereksinim duyulan ısı miktarı
- Depolanabilecek atık veya fazla ısı miktarı
- Isı depolama yöntemi
- Elektrik enerjisi bedeli
- Isıtılacak yapının tipi
- Isı depolama için gerekli alan
- İşletme maliyeti

Duyulur ısı depolama sisteminin etkinliği aşağıdaki etmenlere bağlıdır [6].

- Isı depolama materyalinin özgül ısısına
- Isı depolama materyalinin yoğunluğuna
- Isı depolama materyalinin ısıl iletkenliğine
- Isı depolama sıcaklığına

- Depolama materyali ve depo arasındaki buhar basıncına
- Yüksek sıcaklıklarda materyalin kararlılığına
- Sistemin maliyetine bağlıdır.

Duyulur ısı depolama yöntemiyle ısı depolamada yaygın olarak karşılaşılan genel sorunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir [6].

- Isı depolama sürecinde, depolama sıcaklığı sürekli olarak yükseldiğinden çok fazla ısı kaybı oluşur.
- Isı geri kazanma sırasında, depolama sıcaklığı sürekli olarak azaldığından, sistemin ısıl etkinliği azalır.
- Isı depolama ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğinden, ısı deposunun yalıtım gereksinimi nedeniyle sistem maliyeti artar.

1.1.2. Termokimyasal Isı Depolama Yöntemi

Kimyasal reaksiyon esnasında alınan veya verilen ısıdır. Reaksiyon ısısının enerji depolama için kullanılması yöntemine termokimyasal enerji depolama denmektedir. Termokimyasal depolama, orta sıcaklıktaki bir kaynaktan endotermik reaksiyonla ısı alan ve ekzotermik reaksiyonla ısı veren veya ekzotermik reaksiyonla yüksek sıcaklıkta istenen ortama verilen, tersinir reaksiyonlardan oluşur [7].

Isı enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek uzun süre depolanabilir. Termokimyasal ısı depolama yönteminde, ekzotermik olarak tepkimeye girebilen iki veya daha fazla kimyasal bileşikte, tersinir tepkimeler süresince, kimyasal bağlarda ısı depolanır. Depolama sisteminin ömrü, prensip olarak sınırsızdır. Kimyasal bağların tersinir olarak ayrışma ve birleşme sırasında, ısı değeri yüksek olan kimyasal tepkimeler gerçekleştiğinden, ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir [4].

Termokimyasal ısı depolamada; tepkimeye giren bir AB kimyasal maddesi yüksek sıcaklıktaki ortamdan ısı alarak,



eşitlik 1.2’de gösterildiği gibi, tersinir bir tepkimeyle A ve B bileşenlerine ayrılır. Termokimyasal yöntemle ısı depolayan sistemler, gizli ısı depolama sistemlerinden daha karmaşıktır. Sistemdeki bileşenlerin kendi aralarındaki olası etkileşimleri önemlidir.

Yöntemin en önemli özelliği seçilen tepkimenin tersinir olmasıdır ve ikinci en önemli özelliği yan tepkimeler oluşmamasıdır [4].

Termokimyasal reaksiyonların avantajları;

- Isı, çevre sıcaklığına yakın sıcaklıklarda depolanabilir ve bundan dolayı depolama tankının yalıtımı önemli bir problem teşkil etmez.
- Isı, özel kollektörler olmaksızın çevreden alınabilir ve böylece sistemin maliyetinden azalmalar sağlayabilir.
- Enerji yükleme ve boşaltma sıcaklıkları sabit tutulabilir.
- Kimyasal reaksiyonlarla ısı depolama, diğer depolama metotlarına göre daha büyük bir depo hacmi gerektirir.
- Kimyasal reaksiyonla oluşan ısı, kayıplar olmaksızın depolanabilir ve kolayca transfer edilebilir. Mevcut sıcaklıkta uzun süre depolanabilir.
- Yüksek depolama enerji yoğunluklarına sahiptirler.

Termokimyasal reaksiyonların dezavantajları ise;

- Operasyon koşullarının çeşitliliğine bağlı olarak kimyasal bileşenleri ve reaksiyon kinetiğinin özelliklerinde belirsizlikler, zehirlilik ve yanabilirliktir.
- Termokimyasal enerji depolama sistemlerinde iki madde birbirinden ayrı tutulduğu için diğer depolama sistemlerinden daha karmaşık ve pahalıdır [4].

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

1.1.3. Gizli Isı Depolama Yöntemi

Isı depolama materyallerinin iç enerjisinin önemli oranda değişmesi, bu materyalin faz değiştirmesine neden olur. Faz değiştirmesiyle ortaya çıkan ısıya gizli ısı denir. Bu nedenle, ısı depolama amacıyla, belirli sıcaklıklarda erime, buharlaşma veya diğer faz değişimlerine uğrayan ve ısı depolama kapasiteleri yüksek olan materyallerden yararlanılır.

Bu ısı depolama yöntemi, ısı depolama kapasitesi yüksek olması ve ısı depolama materyali faz değiştirme sıcaklığının sabit sıcaklıkta ısı depolamak için uygun olması nedeniyle, diğer ısı depolama yöntemlerine göre istenen özelliklere sahiptir [4]. Depolama katı-sıvı, katı-katı, sıvı-buhar ve katı-buhar dönüşümleri kullanılarak gerçekleştirilebilir [8]. Ancak, uygulanabilirliğinin rahatlığı açısından en çok tercih edilen katı-sıvı dönüşümüdür. Katıdan katıya faz değişimi geçiren FDM'lerin çok azı ısı enerjisi depolama uygulamaları için uygundur. Sıvı-gaz faz değişimi geçiren FDM'ler yüksek ısı depolama kapasitelerine sahip olmakla birlikte faz değiştirme sırasında büyük hacim değişimlerine maruz kalırlar. Dolayısıyla pratik uygulamalar için uygun değildir. Katı-sıvı faz değiştiren malzemeler oldukça yüksek ısı depolama kapasitelerine sahiptirler ve faz değişimi sırasında hacimlerinde büyük değişimler olmaz. Gizli ısı depolama sistemlerinde çoğunlukla bu tür FDM'ler kullanılır [9].

Maddenin gizli ısısı aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

$$\dot{Q} = \int_{T_o}^{T_e} \dot{m} c_p dT + \dot{m} H_E + \int_{T_e}^{T_s} \dot{m} c_p dT = \dot{m} [H_E + c_k (T_e - T_i) + c_s (T_s - T_e)] \quad (1.3)$$

Eşitlik 1.3'de, c_k ve c_s (kJ/kgK) sırasıyla katı ve sıvı fazın sabit basınçtaki özgül ısıları; T_o (K) başlangıç sıcaklığı, T_e (K) erime sıcaklığı ve T_s (K) son sıcaklık ve H_E (kJ/kg) erime gizli ısıdır. Bu eşitlikteki birinci ve üçüncü terim FDM'nin duyulur ısısını, ikinci terim ise erime gizli ısısını ifade eder [10].

Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi duyulur ısıya göre daha küçüktür. FDM'ler sabit bir sıcaklık aralığında depolama olanağı sağlar ve erime sıcaklığına bağlı olarak hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanılabilirler [11].

Gizli ısı depolamanın diğer ısı enerjisi depolama tekniklerine göre üstün yönleri şu şekilde sıralanabilir [9].

- Duyulur ısı depolamaya göre termal enerji depolama kapasitesi yüksektir ve ısı deposu hacmi daha küçüktür.
- FDM olarak kullanılan maddelerin birim kütlelerinin termal enerji depolama kapasiteleri daha yüksektir. Faz değiştirme sıcaklıkları, sabit sıcaklıkta depolama ve geri kazanma için uygundur.

Gizli ısı yoluyla ısı enerji depolamanın üstünlüklerinin yanında, bazı dezavantajları da şu şekilde sıralanabilir.

- FDM'lerin düşük ısı iletkenliği,
- Depolama sırasında meydana gelen yoğunluk değişimi,
- Uzun süreli kullanım sonucunda maddenin yapısında ortaya çıkan kararsızlıklar,
- Faz ayrılması ve aşırı soğuma

olarak ifade edilir [9].

1.2. Isı Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Duyulur, gizli ve termokimyasal ısı depolama yöntemleri arasındaki temel farklar Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Farklı ısı depolama yöntemleri arasındaki temel farklar [4].

Özellikler	Isı Depolama Yöntemleri		
	Duyulur Isı Depolama	Gizli Isı Depolama	Termokimyasal Isı Depolama
Depolama kapasitesi	Düşük	Düşük	Yüksek
Geri kazanma sıcaklığı	Değişebilir	Sabit	Sabit/Değişken
Yalıtım	Gerekli	Gerekli	Gerekli değil
Isı kayıpları	Fazla	Fazla	Az
Tasarım	Kolay	Oldukça güç	Bilinmiyor

Duyulur ve gizli ısı depolama yöntemleriyle karşılaştırıldığında, termokimyasal yöntemle ısı depolamanın bazı üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [4].

- Isı depolama kapasitesi yüksektir.
- Ek ısı kaybı oluşmadan, uzun süre ısı depolamak mümkündür.
- Tepkime sonunda oluşan ürünler, yalıtım gereksinimi olmadan ortam sıcaklığında depolanabilir.
- Depolanmış ısı uzun mesafelere taşınabilir.

Bununla birlikte, termokimyasal yöntemle ısı depolamada en önemli iki olumsuzlukla karşılaşılır [4].

- Termokimyasal yöntemle ısı depolama teknolojisi genel olarak gelişmemiştir.
- Kullanım sırasında yan tepkimeler sorun oluşturabilir.

Duyulur, gizli ve termokimyasal ısı depolama yöntemlerinin uygulanabilirlik açısından önemli bazı özellikleri Tablo 1.2’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1.2. Isı depolama yöntemlerinin karşılaştırılması [12].

Özellikler	Isı Depolama Yöntemleri		
	Duyulur Isı Depolama	Gizli Isı Depolama	Termokimyasal Isı Depolama
Depolama kapasitesi	Geniş sıcaklık aralığı olmadıkça düşüktür.	Orta düzeydedir. Yüksek sıcaklıklarda artar.	Genellikle yüksektir.
Yalıtım gereksinimi	Var	Var	Var
Çalışma sıcaklığı	Değişebilir	Sabit	Değişebilir
Teknoloji	Mevcut	Bazı sıcaklık için mevcuttur.	Genellikle mevcut değildir.
Kullanım süresi	Belirsiz olarak uzun	Çevrime bağlı olarak genellikle sınırlıdır.	Yan tepkimeler sık sık sorun oluşturur.
Taşınabilirlik	Normal olarak uzun	Kısa mesafeler için mümkündür.	Uzun mesafeler için mümkündür.
Isı kayıpları	Yalıtım durumuna bağlıdır. Sadece geniş hacimli ısı depolarında, uzun süre depolamada oluşabilir.	Yalıtım durumuna bağlıdır. Sadece büyük hacimli ısı depolarında, uzun süre depolamada oluşabilir.	Isı kaybı ürünün soğutulması için gereklidir. Ek ısı kaybı oluşmadan uzun süre depolama mümkündür.

1.3. Faz Değiştiren Maddeler (FDM)

Faz değiştiren maddeler (FDM) düşük erime/katılaşma sıcaklığına ve yüksek enerji depolama özelliklerine sahip oldukları için son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Faz değişim işlemi iki yönlü olarak gerçekleşir. Endotermik (ısı alan) ve ekzotermik (ısı veren) FDM’ler bu süreçlerde faz değişimine uğrar. Herhangi bir madde faz değişim sıcaklığına ulaşıldığı zaman erimeye başlar ve bu işlem tamamlanıncaya kadar sıcaklık sabit kalır. Madde faz değişim işlemi (erime) esnasında enerjiyi gizli ısı olarak depolar [10].

FDM’lerin kullanım alanları çok çeşitlidir. Genel olarak kullanım alanları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. FDM’lerin kullanım alanları;

- Güneş enerjisinin termal depolanmasında,
- Biyoklimatik binalarda pasif depolamada,

- Soğutma: buz bankası ve aşırı güç ihtiyacını azaltma uygulamalarında,
- Isıtma ve temiz su ihtiyacında,
- Emniyet: bilgisayar ya da elektrik sistemlerinin bulunduğu odalarda sabit sıcaklığın sürdürülmesinde,
- Gıdaların ısı korunması: taşıma, dondurma, pazarlama vb. gibi alanlarda,
- Gıda endüstrisi: Şarap ve süt üretimi, seracılık vb.
- Elektronik parçaların termal korumasında
- Tıbbi uygulamalar: kan taşınması, ameliyat masası vb.
- Motor soğutma (elektrik ve içten yanmalı) cihazlarda,
- Araçlarda termal konforda,
- Ekzotermik kimyasal reaksiyonlarda ani sıcaklık yükselmelerini engellenmesinde,
- Uzun araçlarının termal sistemlerinde
- Güneş enerji panelleri gibi alanlarda rahatlıkla kullanılmaktadır.

Faz değıştiren maddelerde aranan özellikler; termodinamik, fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikler olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir [13].

1.3.1. Termodinamik Kriterler

- Erime noktası, istenen çalışma sıcaklığı aralığında olmalıdır.
- Birim kütlesinin depoladığı gizli ısı miktarı yüksek olmalıdır.
- Yoğunluğu yüksek olmalıdır.
- Özgöl ısısı yüksek olmalı, böylece ilave bir duyulur ısının depolanması sağlanmış olur.
- Isı yükleme ve boşatma esnasında sıcaklık gradientlerinin düşük olması için ısı iletkenliği yüksek olmalıdır.
- Erime anında katı ve sıvı fazlar bileşim bakımından aynı olmalı, yani uygun bir erime özelliği göstermelidir.

- Faz geçiş esnasında hacimdeki değişmeler küçük olmalıdır.

1.3.2. Fiziksel Kriterler

Donma esnasında aşırı soğuma göstermemelidir. Erimiş madde kendi donma noktasında kristalleşmelidir. Bunu sağlamak için çekirdekleşme ve kristalleşmenin büyüme hızları yüksek olmalıdır. Aşırı soğumayı önlemek için ortama çekirdekleştirici veya soğuk bir cisim ilave edilmelidir.

1.3.3. Kimyasal Kriterler

- Kimyasal olarak kararlı olmalıdır.
- Sistemin ekonomik ömrü boyunca kimyasal yapı bozulmamalıdır.
- Yapı malzemelerini korozyona uğratmamalıdır.
- Madde yanıcı, zehirleyici ve patlayıcı olmamalıdır.

1.3.4. Ekonomik Kriterler

- Madde kolay ve bol bulunmalıdır.
- Ucuz olmalıdır.

Duyulur ısı maddelerinden farklı olarak, faz değiştiren maddeler belirli sıcaklık aralığında işlem görürler. Bunun için FDM'nin erime sıcaklığı ile sistemin işlem sıcaklığı denk olmalıdır. Tek bir FDM tüm uygulamalarda kullanılamaz. Bunun yerine değişik sıcaklık aralıklarında farklı FDM'ler kullanılmalıdır. Düşük erime noktalarına sahip FDM'ler yüzey ısıtma ve soğutması için uygundur. Endüstriyel uygulamalarda daha yüksek erime noktasına sahip FDM'lere ihtiyaç duyulur. FDM'ye uygun ısı depolama maddesinin seçiminde bazı kriterler vardır. Bunlar [14];

- Yüksek Depolama Kapasitesi: FDM, birim hacim başına yüksek erime ısısına, birim ağırlık başına yüksek erime ısısına ve yüksek duyulur ısıya sahip olmalıdır.
- Sıcaklık Geçişi: Erime noktası kullanılacak ortam için uygun aralıkta olmalıdır.
- Geçiş İşlemi: İşlem tamamıyla tersinir ve yalnızca sıcaklığa bağlı olmalıdır.

- Isı iletkenliği: Isı iletkenliği her iki fazda değişken ısının ilave edilmesine yardımcı olmak için yüksek olmalıdır.
- Güvenirlik: Faz değişim işlemi herhangi bir azalma olmaksızın dönüşümlü olmalıdır.
- Yoğunluk: Maddelerin yoğunluğu, tüm fazlarda yüksek olmalıdır.
- Basınç: İşlem sıcaklıklarında, buhar basıncı düşük olmalıdır.
- Kararlılık: Madde kimyasal olarak kararlı olmalı, aşındırıcı olmamalı, zehirli ve yanıcı olmamalıdır.
- Hacim Değişimi: Hacim değişimi katılaşmayla ihmal edilir olmalıdır.
- Aşırı Soğutma: Az aşırı soğutma ve yüksek kristal büyüme oranı sahip olmalıdır.

Günümüzde araştırmacılar, FDM'lerin termofiziksel özelliklerini artırma üzerine çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bunun için bilinen metotlardan birisi ötektik (hibrid, karma) FDM kullanmaktır. Bu yöntemde iki ya da daha fazla FDM'yi belirli oranlarda birbiriyle karıştırarak, termofiziksel özellikleri daha iyi olan FDM'ler elde edilmiştir. Burada karışımın ötektik noktasını bulmak ve ötektik karışımı hazırlamak zahmetlidir.

Araştırmacıların üzerinde durduğu başka bir çalışma ise akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı parçacıkların katılması ile akışkanın ısı iletkenliğinin artırılması yöntemidir [15]. Isıl iletkenlikleri yüksek olan bakır, alüminyum, altın, gümüş vb. nano boyutlu katı parçacıklar akışkanlara katılarak yeni bir akışkan üretilmiştir ve bu akışkanlara nanoakışkan denilmektedir. Nanoparçacıkların katılması ile akışkanın ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir [16,17].

- Akışkan içerisine katılan nanoparçacıklar akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür.
- Nanoparçacıklar akışkanın ısı iletimini arttırır.
- Nanoparçacıklar arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçidinin yüzeyinin artmasına neden olur.
- Nanoparçacıkların saçılması akışkanın enine sıcaklık eğiminin düzleşmesine neden olur.

Nanoakışkanların mühendislik sistemlerinde kullanımıyla ilgili literatür çok zengin değildir. Son yıllarda özellikle ısı transferi akışkanı olarak kullanılan yeni nanoakışkanların karakteristiklerinin ve ısı iletkenliklerinin belirlenmesi üzerine modeller geliştirmeye yönelik çalışmalar yoğunluk kazanmıştır.

FDM kullanılan sistemlerde, FDM'lerin düşük ısı iletkenliği en önemli problemlerden biridir. Düşük ısı iletkenlik ısı depolama esnasında, ısı depolama ve geri kazanma zamanını arttırmakta ve ısı depolama etkinliğini düşürmektedir [2,18-21]. Bu sorunu aşmak için ortama ısı iletkenliği arttıracak materyaller eklenmektedir. Isı iletkenliği arttırmakla ilgili birçok yöntem üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bunlar; metal plakalar ekleme, FDM'yi bir metal yapı içine ekleme, FDM içine yüksek ısı iletkenlikte toz maddeler karıştırma, FDM'yi mikrokapsülleme, FDM-grafit karışımları hazırlama vb. yöntemlerdir [22-26]. Ortama farklı formlarda grafit eklenmesi ısı iletkenliği arttırmak için birçok araştırmacı tarafından önerilmektedir [20-28].

Bu çalışmalarla ilgili FDM'nin termal özelliklerini belirleme ve bu özelliklerin iyileştirmesi ile ilgili çalışmalar verilmiştir.

1.4. FDM Termal Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yapılan literatür araştırmasında, FDM'nin termal özelliklerini belirlemek için yapılmış çalışmalar geniş yer tutmaktadır. Bu çalışmalardan öne çıkanlar şunlardır;

Sarı [29] yaptığı çalışmada, stearik asit, palmitik asit, miristik asit ve laurik asit gibi farklı yağ asitlerini kullanarak FDM'nin gizli ısılarını ve erime sıcaklıklarını Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) cihazı ile belirlemişlerdir. DSC cihazı ile 0, 120, 560, 850 ve 1200 erime/katılma çevrimi gerçekleştirmiş ve sonuçlara göre erime/katılma aralığı 0.07 – 7.87 °C, ergime gizli ısı -%1 – -%27.7'lik bir değişim olduğunu bulmuştur. Shukla vd. [30], çalışmalarında termal çevrim test metoduyla bazı seçilen organik ve inorganik FDM'nin termal enerji depolama sisteminin dayanıklılığını yapmışlardır. Seçilen organik ve inorganik malzemeler parafin A, parafin B, parafin C, sodyum hidroksit, disodyum tetraborat, demir nitrat, baryum hidroksit, eritritol kullanmışlardır. Bu FDM'lerin termal enerji depolama sistemlerinin termal, kimyasal ve kinetik kriterlerini incelemişlerdir. Termal özellikleri belirlemek için DSC'de kademeli olarak 1000 termal çevrim yapmışlardır.

Dimaano ve Watanabe [31], soğutma uygulamaları için kaprik-laurik asit karışımını kullanmış, önce farklı oranlarda (90:10, 70:30, 50:50) karışımlar hazırlanarak DSC değerlerine bakılmıştır. DSC sonuçlarına göre %65 mol kaprik, %35 mol laurik asit karışımı yüksek kararlık göstermesine rağmen erime noktası 18°C olduğundan düşük sıcaklık uygulamaları için geliştirilmeye ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Erime aralığını daha aşağı çekmek için karışıma %10 oranında pentadekan eklenmiştir. Ekleme sonrası düşük sıcaklıklarda soğutma amaçlı kullanılabilecek bir karışım elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen karışımın radyal ve eksenel ısı dağılımı incelenmiştir.

Sarı [32], FDM olarak miristik asit – stearik asit (MA – SA), laurik asit – miristik asit (LA – MA) ve laurik asit – palmitik asitin (LA – PA) ötektik karışımlarının termal özelliklerini ve termal dayanıklılığını DSC cihazı ile erime/katılma çevrimlerini araştırmıştır. Ötektik karışım olan LA – MA (%64 – %36), LA – PA (%69 – %31) ve MA – SA (%64 – %36) oranlarına sahip kompozitlerin erime sıcaklıkları sırasıyla 34.2°C, 35.2°C ve 44.1°C ayrıca gizli ısı değerleri 166.8 J/g, 166.3J/g ve 182.4 J/g olarak bulunmuşlardır. 1460 termal çevrim sonucunda erime sıcaklıkları ve gizli ısı değerleri sırasıyla LA – MA -0.31°C ile -0.14°C ve %0.9 ile -%2.4, LA – PA -0.4°C ile -0.23°C ve %1.5 ile %3 ve MA – SA 1.11°C ile -0.26 ve -%1.1 ile -%2.2 arasında değişimler olmuştur. Sharma vd. [33], stearik asit, acetamide, parafin gibi FDM’lerin gizli ısı kapasitelerini, erime sıcaklığını ve özgül ısı kapasitesini araştırmışlardır. Termal dayanıklılığını öğrenmek için DSC’de 0, 20, 50, 70, 100, 150, 200, 250 ve 300 termal çevrim kullanılarak ölçümler alınmıştır. 300 termal çevrimden sonra acetamide ve parafin daha kararlı bir FDM olduğu bulunmuşlardır. Akgün vd. [34], FDM olarak parafin kullanarak, kapalı bir depo içerisine doldurulmak suretiyle ve deponun eşmerkezinden ısı değiştirici görevinde bir borunun geçirilmesiyle parafinin erime/katılma sürecini deneysel olarak araştırmışlardır. Parafinin termal özelliklerini DSC cihazıyla belirlemişlerdir. Kapalı deponun içerisindeki akışkanı farklı debilerde ve giriş sıcaklıkları farklı bir şekilde gönderilmek suretiyle FDM erime ve katılma surelerini hesaplamıştır. Erime ve katılma boyunca ısı transferi geliştirmek için depoya %5 eğim yapılarak toplam erime zamanını %30 oranında azaldığı bulunmuşlardır.

Zuo vd. [35], kaprilik asit ve 1-dodecanol FDM’nin saf ve ikili olarak termal özelliklerini DSC cihazında araştırmışlardır. Kaprilik asit ve 1-dodecanol DSC sonuçları erime sıcaklıkları 6.52°C, gizli ısıları ise 171.06J/g olduğu bulunmuşlardır.

Karışımın ötektikliğı kaprilik asitten %70, 1-dodecanol %30'dur. 60 ve 120 termal çevrimden sonra ötektik karışımda herhangi bir değışiklik olduğunu gözlememişlerdir. Bu da ötektik karışımın termal kararlılığı iyi olduğu kanağıtına varmışlardır. Cedeño vd. [36], DSC cihazı ile saf yağ asitleri palmitik asit, stearik asit, oleik asit ve bunların ikili, üçlü karışımlarının hazırlanması, erime sıcaklıkları ve gizli ısılarını gibi termal özellikleri üzerine yapmış oldukları bir çalışmadır.

Keleş vd. [37], deneysel olarak enerji depolama sisteminde dikey bir silindir borunun içerisindeki FDM'nin termal karakteristikliğı üzerine yapmış oldukları bir çalışmadır. FDM olarak laurik asit ve miristik asit karışımı olan bir ötektik karışım hazırlamışlardır. Erime sıcaklığı 34.2°C ve gizli ısı 166.8 J/g olan ötektik bir karışım termal özelliklerini DSC cihazı ile belirlemişlerdir. Ötektik FDM'nin termal karakteristikliğini ise iç içe geçmiş bir silindir depo yardımıyla deneysel olarak ölçmüşlerdir. Ölçümlerde farklı giriş sıcaklıklarda ve ısı transfer akışkanı farklı debilerde gönderilmek suretiyle birbirleriyle karşılaştırma yapılarak elde etmişlerdir. DSC termal analizler ve deneysel olarak yapılmış oldukları sonuçlar ışığında LA – MA ötektik FDM'nin, termofiziksel ve termal karakteristik bakımından düşük sıcaklıklarda güneş enerji depolama uygulamalarında kullanılabileceğini bulmuşlardır. Feldman vd. [11], farklı yağ asidi karışımları hazırlayarak bunların ısı depolama açısından özelliklerini incelemiş ve yağ asitlerinin alan ısıtma için FDM olarak önerilebileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada kullanılan yağ asidi karışımlarının (kaprik, laurik, palmitik ve stearik) erime aralıkları 30 °C'den 65 °C'ye, ergime gizli ısıları 153 j/g'dan 182 j/g'a kadar çeşitlilik göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada yağ asitlerinin ikili karışımlarının ötektik noktalarında belirlenmiştir.

Reddy vd. [38], bu çalışmada FDM olarak parafin ve stearik asitlerin, termal enerji depolaması üzerine çalışmışlardır. Sabit bir ısı kaynağı termal enerji depolama sistemi için sabit sıcaklıkta ısı transfer akışkanı kullanmışlardır. 38 mm yarıçapında bir silindirik bir depoda içerisinde FDM'nin erime/katılma ilişkisini incelemişlerdir. Cho ve Choi [39], çalışmalarında silindirik bir kapsül içerisindeki parafının erime ve katılma süreci boyunca termal karakteristikliğini araştırmışlardır. Deneyde parafin, n-tetradekan ve n-tetradekan (%40) - n-heksadekan (%60) olan bir ötektik karışım ve su ile yapmışlardır. Parametreler FDM'nin termal enerji depolamasının erime süreci boyunca başlangıç sıcaklığı ve katılma süreci boyunca giriş sıcaklığı ve Reynolds sayısı üzerine çalışmışlardır.

Gürtürk [40] bu çalışmasında, Elazığ ilinde ve güneş ışınımının düşük olduğu Kasım ayında yapmıştır. Sıcak su tankının sıcak su ve yalıtım malzemesi arasına FDM'nin bırakılacağı bir depo yapmıştır. Bu depoya, iki farklı saf FDM'nin karışımı ile elde edilen FDM konulmuştur. Sistem kollektör ile sıcak su deposu sıcaklıklarını göz önünde bulundurarak sistemi aktif ve pasif duruma getirecek bir otomasyon sistemi ile desteklenmiştir. Sistemin FDM'li ve FDM'siz olarak enerji, ekserji analizleri yapılmıştır. Bu analizin sonuçları, FDM'li deponun, FDM'siz depodan, daha fazla ısı depolayabildiğini bulmuştur.

1.5. FDM'nin Termal Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Literatürde, FDM'nin termal özelliklerini belirlenmesi için yapılan çalışmaların yanı sıra, FDM'nin termal özelliklerini iyileştirmek için yapılan çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalar, FDM'nin içerisine metal veya metal oksit parçacıkları belirli oranlarda ilave edilerek, bunların termal özellikleri deneysel olarak incelemiştir.

Wang vd. [41], parafin ve çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWNTs) hazırlanması ve termal özelliklerin belirlenmesi üzerine yapılan bir çalışmadır. Farklı kütle oranlara sahip %0.5, %1, %1.5, %2 MWNT, saf parafin ile DSC cihazından alınan termal özelliklerle karşılaştırmışlardır. Hazırlanmış olan numunelerden %2 kütle oranına sahip olan kompozitin termal iletkenliği katı sıvı durumlar için %35 ve %40 oranlarında iyileştiği tespit etmişlerdir. Sarı ve Karaipekli [42], FDM olarak palmitik asit (PA)/genişletilmiş grafitin (EG) hazırlanması, karakteristikliği, termal özellikleri ve termal dayanıklılığı üzerine yapmış oldukları bir çalışmadır. PA/EG (%80 – %20) ağırlığındaki kompozitenin DSC sonuçlarına göre erime/katılaşma sıcaklığını ve gizli ısını sırasıyla 60.88 °C ve 148.36 J/g olarak ölçülmüştür. FDM kompozitenin termal dayanıklılığını ise 3000 erime/katılaşma çevrimiyle iyi olduğunu bulmuştur. PA/EG kompozitenin termal iletkenlik için %5, %10, %15, %20 gibi farklı kütle oranlarına sahip numuneler hazırlamışlardır. Saf halde ölçüm yapılan palmitik asitin termal iletkenliği 0.17 W/mK iken PA/EG (%80 - %20) olan kompozitin termal iletkenliği 0.60 W/mK bulmuşlardır. Sonuç olarak çalışmalarında farklı oranlara sahip kompozitten en uygun olan karışımın %20 oranına sahip olan kompozit olduğu tespit etmişlerdir.

Xia vd. [43], %0 ile %10 arasında değişen genişletilmiş grafit (EG) kütle oranı ile parafin maddesinin farklı oranlarda hazırlanması ve kompozitin termal karakteristikliği üzerine yapılmış oldukları bir çalışmadır. Termal karakteristikliği belirlemede kullanılan DSC cihazından elde edilen sonuçlar saf parafin erime/katılaşma noktası 1.2 °C iken kompozitenin erime/katılaşma noktası 5.6 °C olmuştur. Deneysel olarak yapılan çalışmada, gizli enerji depolama sisteminde kompozit FDM'nin erime/katılaşma süreçlerini saf parafin ile parafin/EG (%90 – %10) kompozitlerin birbirleriyle karşılaştırılmasında erime ve katılaşma sürelerinde sırasıyla %48.9 ve %66.5 azalttığını bulmuşlardır.

Wu vd. [44], parafin içerisine nanoparçacıklar ilave edilerek yeni bir nanoakışkan FDM hazırlamışlardır. Parafinin ısı transfer oranını iyileştirmek için Bakır (Cu), Alüminyum (Al) ve Karbon/Bakır (C/Cu) nanoparçacıklar kullanmışlardır. Cu nanoparçacıklar karışımlar sonucunda ısı transferi en iyi performans gösteren nanoparçacıklar olmuştur. Cu/Parafin kompozit ile saf parafin malzemesini termal zellikleri DSC cihazında belirlemişlerdir. Gizli ısıları ve faz değişim sıcaklıkları 100 termal cevrim sonrasında çok küçük değişiklikler olmuşlardır. %1 Cu nanoparçacıklar ile kompozitin erime ve katılaşma zamanı sırasıyla %30.3 ve %28.2 azaldığını bulmuşlardır.

Zeng vd. [45], 1-tetradecanol (TD)/Gümüş (Ag) kompozit malzemelerin hazırlanması, termal karakterize ve FDM'nin ısı iletkenliği zerine, Ag nanoparçacıkların etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar Ag yükleme artış nanoparçacıklar gibi kompozit malzemesinin ısı iletkenliği geliştirilmiş olduğunu bulmuşlardır. Bu Ag nanoparçacıklar ve TD arasında güçlü bir etkileşim olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca, deneysel sonuçlar Ag nanoparçacıklar saf metal formları olduğu ve malzemelerin homojen olarak dağılmış olduğunu göstermişlerdir.

Wang vd. [46], palmitik asitin içerisine farklı kölelere ait MWNT ilave edilerek yeni bir kompozit FDM elde etmişler ve bu elde edilen kompozitenin termal performanslarını incelemişlerdir. Nanotüp kompozitlerin termal iletkenliğinin deneysel ölçümleri, sıcak tel metodu ile kullanılarak yapmışlardır. Farklı oranlara sahip karbon nanotüplerin arasında %1 içeren karışımın elde edilen sonuçlar ışığında %30 civarında termal iletkenliği iyileştiğini bulmuşlardır. Sanusi vd. [47], parafin bazlı FDM'nin içerisine grafit nanofiber (GNF) katılmasıyla yeni oluşan karışımın termal özellikleri üzerine yapılan bir çalışmadır. Deneysel olarak yapmış oldukları çalışmada 2 adet alüminyum plaka arasına FDM – GNF numunelerin sıkıştırılarak, hem termal depolama hem de katılaşma zamanları incelemişlerdir.

FDM – GNF kompozitin termal içeren üniteye saf parafine nazaran maksimum sıcaklığı %48 azaldığı ve katılma süresinin ise %61 kısaldığı deneysel çalışmalar sonucunda bulmuşlardır. Sarı [48], bu çalışmasında tip1 (P1: 42 – 44 °C) ve tip2 (P2: 56 – 58 °C) erime sıcaklığında, gizli ısı ise 192.8 J/g ve 212.4 J/g olan iki farklı parafin kullanmıştır. Bu iki farklı parafin ile yüksek yoğunlukta polietilen (HDPE) olan bir kompozit hazırlanmıştır. DSC cihazı ile P1/HDPE ve P2/HDPE kompozit FDM'lerin erime sıcaklıkları ve gizli ısıları sırasıyla 37.8 °C – 55.7 °C ve 147.6 J/g – 162.2 J/g olarak belirlemişlerdir. Kompozitlerin termal iletkenlikleri iyileştirmek için genişletilmiş ve pullu grafitten %3 oranında ilave etmişlerdir. P1/HDPE kompozitenin %14 civarında ve P2/HDPE kompozitenin ise %24 civarında artığını bulmuşlardır.

Wang vd. [49], çalışmasında yüksek iletkenlikte polietilen glikol (PEG)/Silika dioksit (SiO₂) kompozit ile β -alüminyum nitrat (β -ALN) eklenerek hazırlanmış olan numunenin yapısını incelemişlerdir. Numunelerin farklı kütle oranlara sahip %5 ile %30 β -alüminyum nitrat karışımın termal iletkenlik değeri 0.3847 W/mK ile 0.7661 W/mK arasında değişmektedir. Sonuç olarak hazırlanmış oldukları numunenin yayılım oranı ve ısı depolaması saf PEG göre daha yüksek olduğu tespit etmişlerdir. Zeng vd. [50], FDM olarak palmitik asitin kullanıldığı, termal iletkenlik ve entalpinin iyileştirilmesi için ise MWNT kullanıldığı bir kompozitin hazırlanması ve termal özelliklerin belirlenmesi üzerine yapmış oldukları bir çalışmadır. Kompozit hazırlamada farklı oranlara sahip MWNT kullanmışlardır. Bu karışımlar sonucunda %5 ilave edilmiş olan kompozitin termal iletkenliği saf halde olan palmitik asit ile kıyaslandığında %26'dan daha fazla bir iyileşme söz konusu olduğunu bulmuşlardır.

Jesumathy vd. [51], deneysel olarak yapılmış oldukları çalışmalarında, FDM olarak parafin kullanılması ve içerisine termal iletkenliği artırmak için farklı kütsel oranlara sahip bakır oksit nanoparçacıklar kullanılarak dikey bir silindir içerisinde saf parafin ile bakır oksit eklenmiş olan parafinin termal iletkenlikleri ve termal karakteristikleri üzerine yapmış oldukları bir çalışmadır. Yapılan deneysel sonuçlar, bakır oksit eklenmiş olan parafinin saf parafine oranla erime/katılma sürelerinde azalmalar ve termal iletkenliklerde yükselmeler olduğu tespit etmişlerdir.

Liu vd. [52], Baryum klorür (BaCl₂) sulu çözeltisi ile küçük miktarlarda Titanyum oksit (TiO₂) nanoparçacıklar ilave edilerek yeni bir nanoakışkan FDM üzerine yapmış oldukları bir çalışmadır.

Nanoakışkan FDM'nin faz değişim özelliği erime/katılaşma eğrisi, soğuk depolama/ikmal oranı ve soğuk depolama/ikmal kapasitesi gibi özellikleri küçük bir aparat vasıtasıyla nanoakışkan FDM'nin katılaşma ve erime çevrimi deneysel olarak çalışmışlardır. Zhong vd. [53], Parafinin termal özelliklerini artırmak için farklı yoğunluklarda sıkıştırarak genişletilmiş doğal grafit (CENG) partiküller kullanarak, Parafin/CENG kompozitin termal enerji depolamasını, yapısını, termal iletkenliğini ve gizli ısını belirleme üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Kim ve Drzal [54], çalışmalarında parafin (n-dekosa) ve pullu nano grafit (xGnP) kompozit FDM'nin yüksek elektrik iletkenliği, termal iletkenliği ve gizli ısı depolamasını belirlemek için sıvı parafin içerisine belirli oranlarda xGnP karıştırılarak yeni bir kompozit hazırlamışlardır. 75°C'de hazırlanan numune, farklı xGnP oranları (%1, %2, %3, %5 ve %7) sıvı parafinin içerisine eklemişlerdir. Hazırlanan kompozitin termal karakteristikleri DSC cihazıyla belirlemişlerdir. Sarı ve Karaipekli [55], kaprik asit (CA) ile genişletilmiş perlit (EP) birleştirerek yeni bir FDM kompozit hazırlamışlardır. Kompozitenin karakteristiğini SEM ve FT-IR cihazlarıyla belirlenmiş, termal özelliklerini ve dayanıklılığını ise DSC cihazı ile elde etmişlerdir. 5000 termal çevrim sonucunda dayanıklılığını iyi olduğunu ve kompozit FDM'nin termal iletkenliğini ise %10 ağırlığında genişletilmiş grafit ilave edilerek yaklaşık olarak %64 oranında arttığı bulmuşlardır.

Ho ve Gao [56], n-octadekan içerisine alümina nanoparçacıklar ilave edilerek gömülü FDM nanoparçacıklar iyonik olmayan yüzeysel metodu kullanılarak numuneyi hazırlamışlar ve termofiziksel özelliklerinin etkileri, gizli ısı difüzyonu, yoğunluğu, dinamik viskozitesi, termal iletkenlik gibi özellikleri deneysel olarak araştırmışlardır. Ai vd. [57], FDM olarak stearik asit ve nanoparçacıklar olarak Zirkonyum oksit (ZrO_2) kullanılarak yeni bir kompozit hazırlamışlardır. Isı kapasitesi faktörü (HCF) kavram materyali olarak termal özelliklerini analiz için kullanmışlardır. Başlangıç malzemeleri olarak stearik asit, aynı içeriği (ağırlıkça %23) içermesi fakat farklı teknik yöntemler ile sentezlenen FDM'nin termal özellikleri HCF kullanılarak araştırmışlardır. Kumaresan vd. [58], sıvı parafin içerisine küçük miktarlarda çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ilave edilerek nano akışkan FDM hazırlanmışlar, katılaşma süreci boyunca termal özellikleri incelenmişler ve ısı transfer özellikleri iyileştirmeye çalışmışlardır. Cui vd. [59], FDM olarak soy mumu ve parafin mum kullanılarak içerisine karbon nanofiber (CNF) ve karbon nanotüp (CNT) doldurularak termal özellikleri ve termal iletkenliği iyileştirmek için deneysel olarak bir çalışma yapmışlardır.

FDM'nin içerisinde %1, %2, %5 ve %10 gibi farklı oranlarda CNF ve CNT karıştırılarak yeni kompozitler hazırlanmıştır. Sonuç olarak hazırlanan numuneler saf FDM'lerden daha iyi bir termal iletkenliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. CNT ve CNF arasında bir karşılaştırma yaptıklarında ise CNF, CNT'den daha iyi bir termal iletken olduğu kanaatine varmışlardır.

Wang vd. [60], çalışmalarında parafin ve mikro-boyut grafit gevrek (MSGF) kompozitin, enerji depolama ve termal iletkenlikleri deneysel olarak araştırmışlardır. Zeng vd. [61], Ag nanotel kullanılarak organik FDM (1-Tetradekanol) karışımın termal iletkenlikleri iyileştirme üzerine yaptıkları bir çalışmadır. Ag nanotel hacim olarak %11.8 civarında, 1-Tetradekanol ağırlıkça %62.73 içeren bir kompozitin yüksek termal iletkenliği 1.46 W/mK ve faz değişim entalpisi ise 76.5 J/g olarak bulmuşlardır. Böylelikle de Ag nanotel termal iletkenlik için güçlü bir aday olduklarını belirlemişlerdir.

Karaipekli vd. [62] çalışmalarında, FDM olarak stearik asitin (SA), farklı kütle oranlarına sahip (%2, %4, %7 ve %10) olan genişletilmiş grafit (EG) ve karbon fiberi (CF) ilave edilmesiyle FDM'nin termal iletkenliğini iyileştirme üzerine yaptıkları bir çalışmadır. SA/EG ve SA/CF kompozitleri sıcak tel metodu ile termal iletkenlikleri ölçülmüş ve DSC cihazı ile erime sıcaklıkları ve gizli ısı kapasiteleri belirlenmişlerdir. Sonuç olarak saf haldeki stearik asit ile SA/EG ve SA/CF kompozitleri birbiriyle kıyaslamışlar ve kompozitler arasında en iyi termal iletkenliklerin (%90 - %10) karışımın olduğu tespit edilmişlerdir. Bayramoglu [63], n-octadekan içerisinde çok duvarlı nanotüp (MWNT) farklı ağırlık yüzdeleriyle 1.25, 2.5, 5 ve 10 eklenerek n-octodekan termal özellikleri belirlemiştir. N-octadekan içinde %1.25 MWNT ilave edilmiş olan kompozitin gizli enerji depolama kapasitesi %18 oranında katkı sağlamış ve 1440 erime/katılaşma çevrimiyle kompozitin termal özellikleri ve termal stabilitesi incelemiştir. Farklı oranlar arasında termal dayanıklılığı en iyi olan karışımın %1.25 olan karışım olduğu tespit edilmiştir.

Zeng vd. [64], PANI/tetradekonal MWNT kompoziti polimazisasyon metoduyla hazırlamışlardır. DSC sonuçları, kompozitin entalpisinin 115 J/g olduğunu bulmuşlardır. MWNT, kompozitin içerisinde rasgele dağıtmışlar ve kompozit FDM'nin termal iletkenliği kayda değer bir şekilde arttığını bulmuşlardır. Kompozit FDM'nin 0.33 ile 0.43 W/mK oranında iyileştirdiğini bulmuşlardır. Frusteri vd. [65], FDM44 inorganik kompozitin termal iletkenliği iyileştirmek için karbon fiber kullanmışlardır. Kompozitin termal iletkenliğini sıcak tel metodu yardımıyla ölçülmüştür.

Kompozit farklı oranlarda hazırlamışlar ve en iyi termal iletkenliği %7 oranında eklemiş oldukları karışımın sonuçları olduğunu bulmuşlardır.

Li ve Wu [66], n-dekosaan içerisine %4, %10 ve %16 oranlarında grafit eklenerek yeni bir kompozit FDM elde etmişlerdir ve termal özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapmış oldukları bir çalışmadır. N-dekosaan'nin içerisine eklenmiş olan %16 oranında grafitin ısı depolama ve yayılım oranı sırasıyla %763 ve %276.9 oranında, termal iletkenliğinin ise %264.4 oranında arttığını bulmuşlardır. Grafit eklenmiş olan kompozit pik sıcaklığı, gizli ısı, termal dayanıklılığı gibi özellikler saf n-dekosaan özellikler kıyasla iyi olduğu tespit etmişlerdir.

Bu tez çalışma kapsamında temel amaç, ısı iletkenlikleri iyi olan metal ya da metal oksit nanoparçacıkları, ısı iletkenlikleri kötü ancak daha ucuz olan tektik FDM içerisine ilave edilerek, nanoparçacık katkı faz değiştiren maddeler hazırlamak ve hazırlanan karışımın termal özelliklerini incelemektir. Çalışmada, farklı FDM'ler (organik, inorganik ve yağ asiti) ve üç ayrı nanoparçacıklar (Alüminyum oksit, Bakır oksit ve Grafit) kullanılmıştır. Nanoparçacıklar, FDM içerisine farklı oranlar da ilave edilmiştir. Bu hazırlanan nanoparçacık katkı faz değiştiren maddeleri, silindirik bir depo içerisinde erime/katılaşma zamanlarını deneysel olarak incelenmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

Deney setinin imalatı ve çalışmada kullanılacak olan FDM ve nanoparçacıkların termal özelliklerinin belirlenmesi gibi parametreler bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1. Kullanılan FDM ve Nanoparçacıkların Termal Özelliklerinin Belirlenmesi

Detaylı literatür araştırması sonucunda, termo fiziksel analizlerin yapılabilmesi için uygun sıcaklıklarda 17 adet FDM (Tablo 2.1) ve bunlara ilave edilmek amacıyla bakır oksit (CuO), alüminyum oksit (Al₂O₃) ve grafit nanofiber (GNF) olmak üzere 3 adet nanoparçacık belirlenmiştir. FDM'lere nanoparçacık katkıların eklenmesi sırasında homojen olarak birbirlerine karışabilmeleri ve çökelme olmaması için, tek bir tip FDM yerine organik, inorganik, tuz hidrat ve yağ asiti gibi farklı türlerden FDM'ler tercih edilmiştir.

Tablo 2.1. Fiziksel analizlerin belirlenmesinde kullanılan FDM'ler [25].

Faz değiştiren malzemeler	Erime sıcaklığı (°C)	Gizli ısı (kJ/kg)	Termal iletkenlik (W/mK)	Yoğunluk (kg/m ³)
n – Heksadekan	16	238	0.21	774
Paraffin	32	251	0.514	785
n-Heksakosan	56.3	255	0.21	770
n – Triakontan	65	252	-	-
NaCl·Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	18	286	-	-
KF·4H ₂ O	18	330	-	-
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂	33	246.5	-	-
CH ₃ COONa·3H ₂	58	270-290	-	-
Tiyosinamin	77	140	-	-
Stearik Asit	69	202.5	-	848
Palmitik Asit	61.8	185.4	0.162	850/989
Miristik Asit	54	204.5	-	861
Kamfen	50	238	-	842
Laurik Asit	42	178	0.147	870
Kaprik Asit	32	152.7	0.153	878/1004
Asetik Asit	16.7	184	-	1050
Formik Asit	7.8	247	-	1226.7

Literatür araştırması sonucunda belirlenmiş olan FDM ve nanoparçacıklar, DSC ile kimyasalların birbirleriyle homojen şekilde karışıp karışmadıklarını ve bu karışımların termo fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu veriler ile deneyde kullanılacak olan FDM ve nanoparçacık katkılı FDM'ler belirlenmiştir. DSC eğrileri, karışımların erime ve katılma sıcaklıklarını ve entalpileri gibi termal özelliklerini belirlememizde yardımcı olmuştur. Deneyde kullanılacak olan parametreler, bu analizlerle sınırlı olmadığından farklı cihazlarla da ölçümler alınmıştır. Bu ölçüm cihazları, termal iletkenlik (KD2 Pro), taramalı elektron mikroskobu (SEM), termal çevrim, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre (FT-IR), X ışın kırınımı (XRD) gibi cihazlardır.

2.1.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Tekniği

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) tekniği malzemelerin ısı analizi için kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. Kısaca, numuneleri ısıttığımız zaman ne gibi fiziksel değişimlere uğrayacağını gösteren bir yöntemdir. DSC ile yapılan çalışmalarda FDM ve NPKFDM'lerin erime sıcaklığı (T_e), erime gizli ısı (ΔH_E), özgül ısı kapasitesi (c_p) gibi termo fiziksel özellikleri belirlememizi sağlar. DSC cihazını üniversitemizin Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Araştırma Laboratuvarında bulunan, SHIMADZU DSC-60A model cihaz ile ölçülmüştür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. FDM ve NPKFDM'nin termal özelliklerinin yapıldığı DSC cihazı

FDM ve NPKFDM'nin DSC ölçümleri için hazırlanması gerekmektedir. Bu hazırlıklar FDM ve NPKFDM'ler ilk başta belirli oranlarda ötektik karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar için hazırlanan numuneleri karıştırma işlemleri, bir ultrasonik karıştırıcı cihazı yardımıyla 70 °C sıcakta 24 saat boyunca homojen olarak karıştırıldı. Karıştırma işleminde kullanılan ultrasonik karıştırıcı Şekil 2.2'de gösterilmektedir.

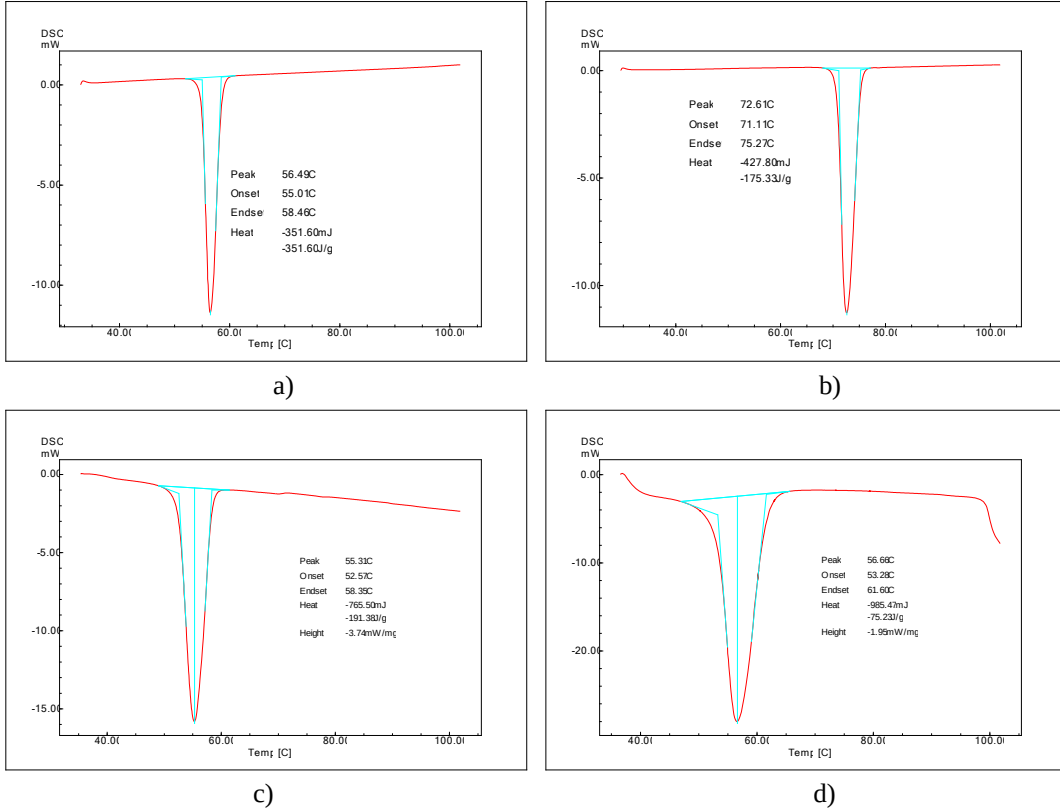


Şekil 2.2. Ultrasonik karıştırıcının gösterimi

Homojen olarak karışmış olan FDM ve NPKFDM'ler DSC cihazında bulunan iki adet penlerden biri boş bırakılmak üzere referans hücreesine yerleştirilir. Diğerine ise ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmış olan numuneler belirli miktarlarda (2 – 10 mg) penlerin içerisine yerleştirildikten sonra kapatılıp, pres yardımıyla sıkı bir şekilde preslenmiştir. Preslenme işleminden sonra DSC cihazının numune hücreesine yerleştirilir. DSC cihazının çalışma hızı 5 °C/dk olup, oda sıcaklığından (25°C) başlayarak 100 °C'ye kadar ısıtılarak, DSC eğrileri alınmıştır. DSC sonuçları Şekil 2.3'de verilmiştir. Alınan DSC eğrileri sonucunda en uygun pik noktası ve ısı kapasitesi en uygun olan karışımlar deneyde kullanılmıştır. Deneyde kullanılacak olan FDM ve NPKFDM'lerin termo fiziksel özellikleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Deneyde kullanılacak olan ötektik FDM ve NPKFDM’lerin termo fiziksel özellikler

Numuneler	Özgül ısı kapasitesi c_p (J/gK)	Termal iletkenlik (W/m°C) (katı)	Entalpi h (J/g)	İlk sıcaklık T_o (°C)	Erime sıcaklığı T_e (°C)	Son sıcaklık T_s (°C)	Yoğunluk ρ (g/cm ³) (katı)
Miristik asit – Tiyosinamin (%90 - %10)	22.2 (T_s)	0.1	191.38	52.57	55.31	58.35	1.018
Miristik asit – Tiyosinamin – Bakır oksit (%90 - %10 - %1)	24.905 (T_e)	0.11	75.23	53.28	56.66	61.6	0.979

**Şekil 2.3.** FDM ve NPKFDM’nin DSC eğrisi, a) Miristik asit, b) Tiyosinamin, c) Miristik asit – Tiyosinamin (%90 – %10), d) Miristik asit – Tiyosinamin (%90 – %10) Bakıroksit (%1),

2.1.2. Termal İletkenliğin Ölçülmesi

Termal iletkenlik ölçümleri, KD2 pro model bir termal iletkenlik cihazıyla yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. KD2 Pro Termal iletkenlik cihazı

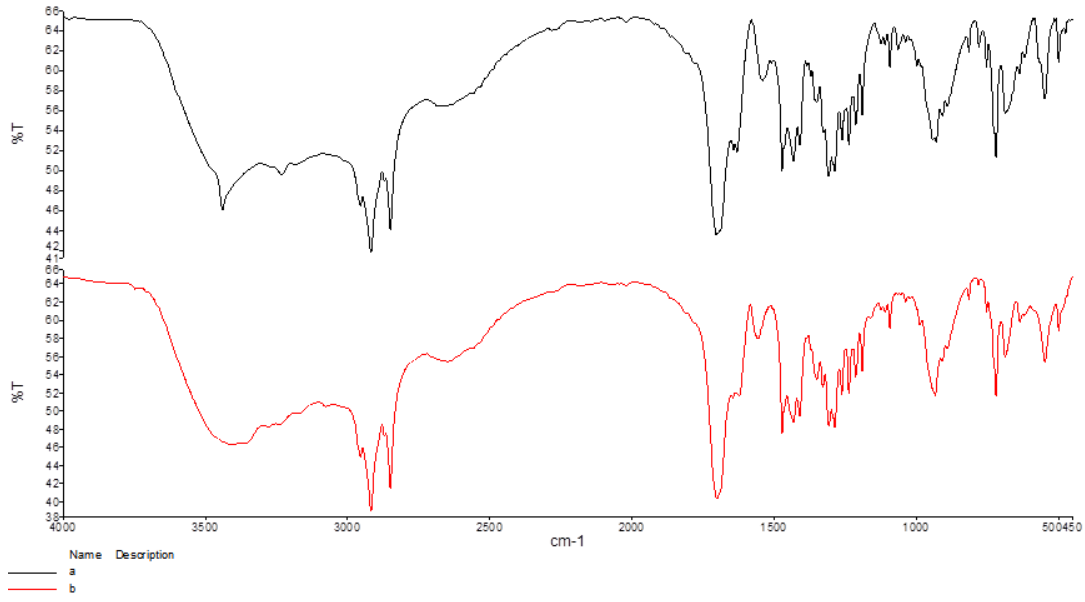
Ölçümler oda sıcaklığında yapılmış olup, bir kapalı kap yardımıyla içerisine belirli oranlarda hazırlanmış olan karışım konulmuştur. Kap içerisine numunenin aralarında boşluklar kalmayacak şekilde presleme işlemi yapılmıştır. Bu işlemlerin sonucunda termal iletkenlik cihazının probu, bu kabın merkezine batırılmak suretiyle ölçümler alınmıştır. Ölçümler üç kez tekrarlanmıştır. Alınan ölçümler Tablo 2.3’de verilmiştir. Ölçümlerin ortalama değerleri, karışımların termal iletkenliği olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2.3. Ötektik FDM ve NPKFDM karışımların termal iletkenliklerini

Karışımlar	1.Deneme (W/m°C)	2.Deneme (W/m°C)	3.Deneme (W/m°C)	Ortalama (W/m°C)
Miristik – Tiyosinamin (%90 - %10)	0.10	0.10	0.10	0.10
Miristik – Tiyosinamin – Bakır oksit (%1)	0.11	0.12	0.11	0.11

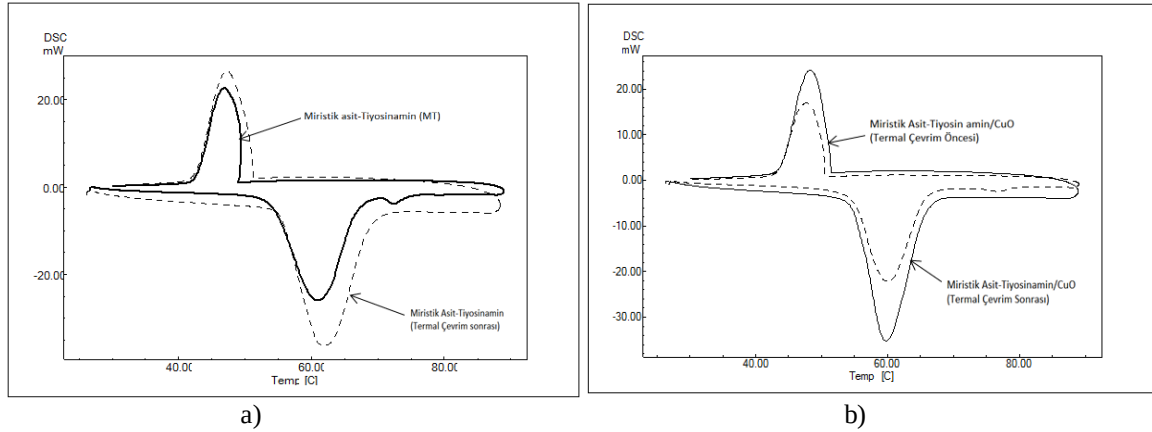
2.1.3. Termal Çevrim (PCR)

Numunelerin termal dayanıklılığını Polimeraz Zincirleme Tepkimesi (PCR) veya Termal çevrim diye adlandırılan bir cihaz yardımıyla incelenmiştir. Bu çalışmada BIOER TC-25H model bir termal çevrim cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda numunelerin çevrim dayanıklılığı test edilmiştir. Bu test için numunelere 2000 çevrim uygulanmıştır. Uygulanan çevrim bir DSC ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre (FT-IR) cihazı yardımıyla grafiğe dönüştürülmüştür. Yapılan çalışmanın sonuçları Şekil 2.5 ve 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.5. FDM ve NPKFDM'nin PCR sonucunun FT-IR gösterimi a) Miristik asit – Tiyosinamin, b) Miristik asit – Tiyosinamin /CuO

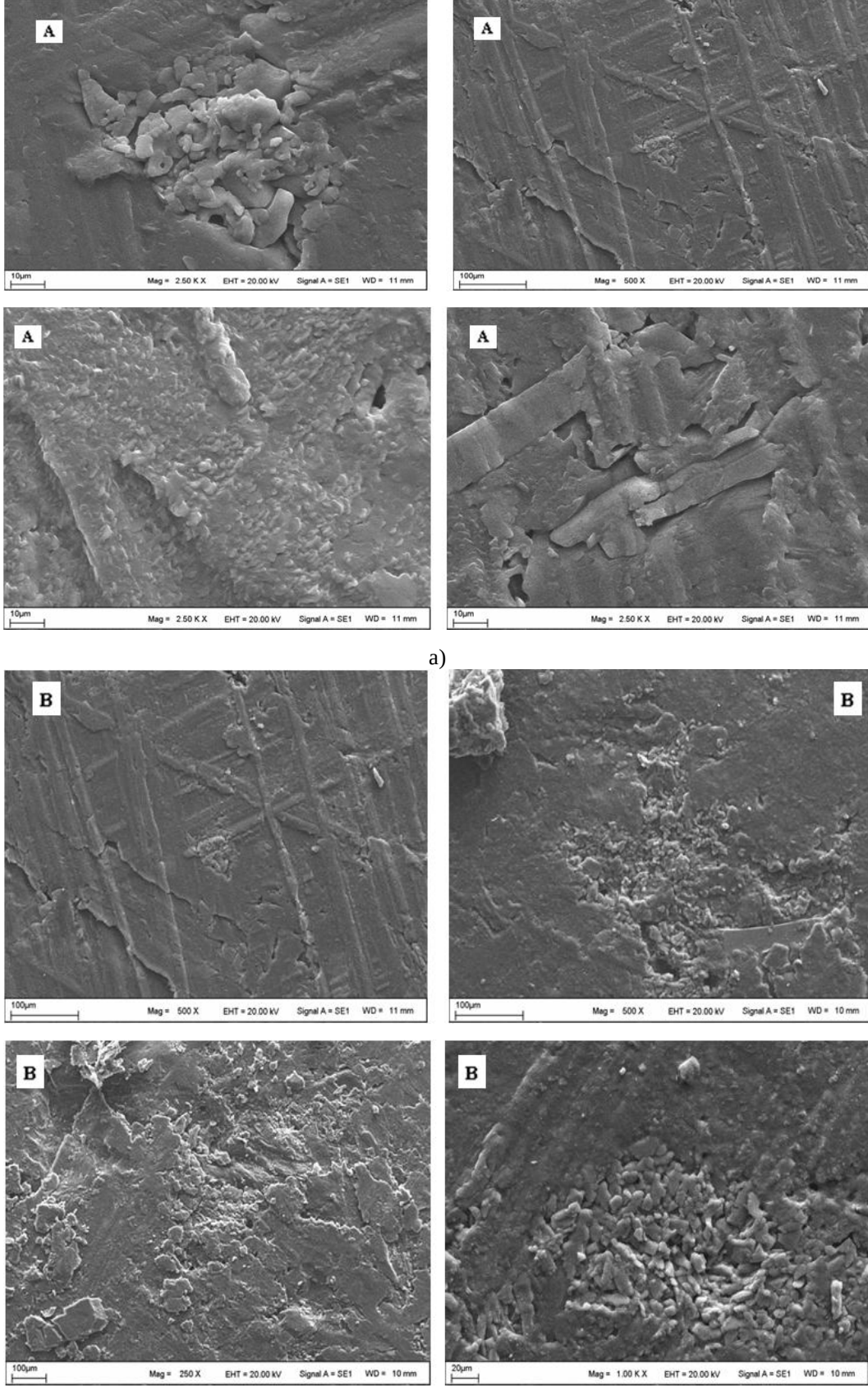
2000 ısıtma ve soğutma çevrimi sonucunda organik faz değiştiren maddelerin (miristik asit – tiyosinamin ve miristik asit – tiyosinamin/CuO) FT-IR spektrumları incelendiğinde bu çevrimler sonucunda malzemenin kimyasal yapısının neredeyse hiç değişmediği belirlenmiştir (Şekil 2.5). Çevrim işlemleri öncesinde ve sonrasında elde edilen DSC ölçümlerinin kıyaslanması Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Buna göre; 2000 ısıtma ve soğutma çevrimleri sonucunda entalpi değerlerinin değişmediği belirlenmiştir. Elde edilen entalpi değerleri; miristik asit – tiyosinamin FDM için sırasıyla 194.68 j/g ve 146.15 j/g; miristik asit – tiyosinamin/CuO faz değiştiren kompozit için 198.90 j/g ve 151.62 j/g olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerler çevrim öncesi verilen entalpi değerleriyle kıyaslandığında neredeyse hiç değişmediği görülmektedir. Hem DSC, hem de FT-IR spektrumları sonucunda elde edilen NPKFDM ve FDM karışımların her ikisinin de termal dayanıklılıkları, termal enerji depolama malzemesi olarak kullanılabileceklerini göstermektedir.



Şekil 2.6. Termal çevrim sonucunda DSC'den alınan sonuçlar, a) Miristik asit – Tiyosinamin PCR çevrim öncesi ve sonrası, b) Miristik asit – Tiyosinamin /CuO PCR çevrim öncesi ve sonrası

2.1.4. Taramalı Elektron Mikroskobu

Karışımların homojen bir şekilde dağılıp dağılmadıklarına Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı yardımıyla bakılmıştır. Malzemelerin mikro yapılarını incelemeye ve malzemede mevcut çökelti fazlarının oluşumlarını gözlemlemeye SEM analizleri kullanılmaktadır. FDM karışımının (miristik asit (%90) – tiyosinamin (%10)) ve NPKFDM karışımının (miristik asit (%90) – tiyosinamin (%10) – bakıroksit (%1)) farklı büyütme ölçeklerinde SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan SEM görüntüleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir. FDM ve NPKFDM karışım numunelerinin SEM görüntüleri değerlendirildiğinde, FDM ötektik karışımının yüzeyleri daha pürüzsüz olduğunu, aynı zamanda yapı içerisinde boşlukların olduğu görülmektedir. NPKFDM karışımının farklı büyütme ölçeklerinde çekilen SEM fotoğraflarında, yüzeyde pürüzlerin olduğu aynı zamanda yapı içerisinde çökelti fazlarının meydana geldiği görülmektedir. NPKFDM ötektik karışımının, faz değiştirici kompozitlerde yapı içerisinde boşluk, yani porozite oluşumu görülmektedir. Yapı içerisinde mevcut olan porozite uygun ısı işlemleri ile önlenemez. Yapılmış olan çalışmada, hem NPKFDM ötektik karışımında hem de ötektik FDM karışımında her ikisinde de boşluk mevcuttur. Ancak, NPKFDM ötektik karışımında yüzey daha pürüzsüzdür. NPKFDM kompozitlerde çok olmamakla birlikte yer yer çökelti oluşumları gözlemlenmiştir.

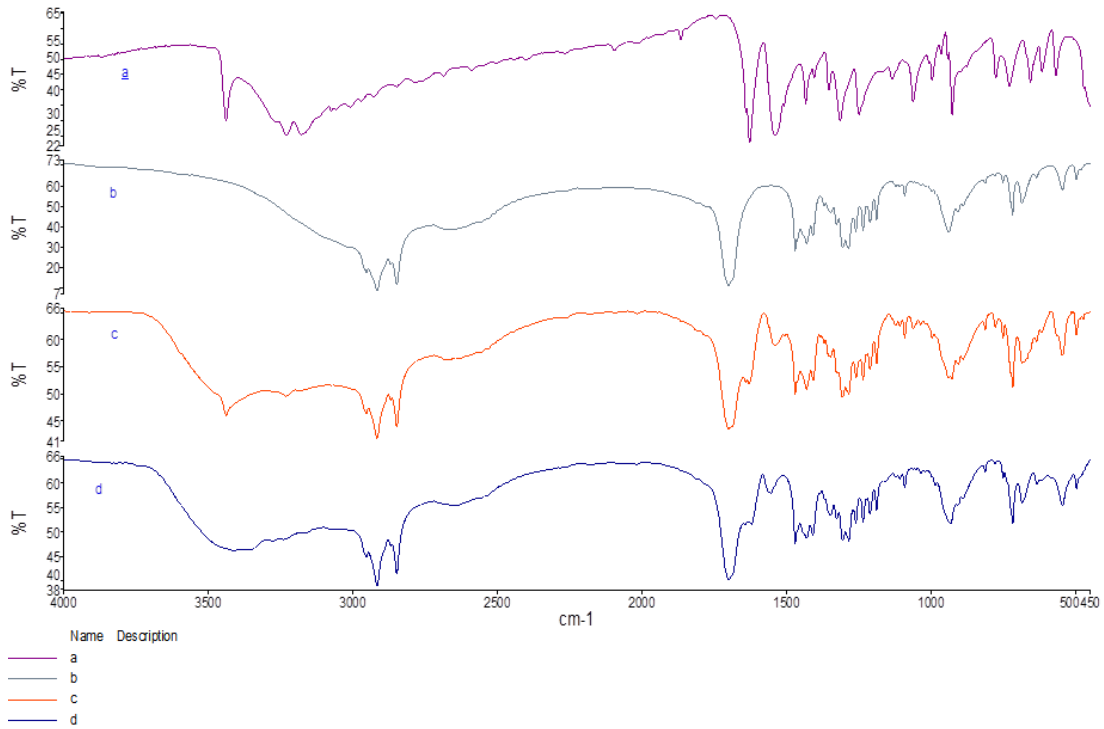


Şekil 2.7. Numunelerin SEM görüntüleri, a) Ötektik FDM karışımın SEM görüntüsü, b) NPKFDM ötektik karışımın SEM görüntüsü,

2.1.5. Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektrometre

Faz değıştiren maddelerin yapısal karakterizasyonunda kullanılan FT-IR tekniğı ile kullanılan miristik asit ve tiyosinamin fonksiyonel grupları öncelikli olarak belirlenir. Miristik asitin $\nu(\text{C}=\text{O})$ grubuna ait pik 1700 cm^{-1} 'de görölmüştür. 1289 cm^{-1} 'de görölen pik ise $\nu(\text{C}-\text{O})$ grubuna aittir. 2848 cm^{-1} ve 2918 cm^{-1} 'de görölen pikler sırasıyla CH_2 ve CH_3 gruplarının varlığını göstermektedir. Hidroksil grubuna ait pik ise $\nu(\text{OH})$ yaklaşık olarak 2647 cm^{-1} 'de belirlenmiştir.

Tiyosinamin karakterizasyonunda fonksiyonel gruplar sırasıyla $3500\text{--}3306\text{ cm}^{-1}$, $1640\text{--}1560\text{ cm}^{-1}$ ve $1580\text{--}1490\text{ cm}^{-1}$ 'de belirlenmiştir. Bu pikler $-\text{NH}_2$ ve $-\text{NH}$ gruplarının eğilme ve gerilme titreşimleridir. Elde edilen miristik asit – tiyosinamin karışımının FT-IR spektrumunda karışımın elde edilmesi sırasında iki organik madde arasında kimyasal olarak bir etkileşim olmadığı görölmüştür. Aynı şekilde %1 oranında bakıroksit (CuO) ile ilave edilen faz değıştiren miristik asit – tiyosinamin/ CuO kompozitinin ise FT-IR spekturumu da maddeler arasında kimyasal bir etkileşim olmadığını doğrulamaktadır. Şekil 2.8'de karışımların FT-IR spektrumları verilmiştir.

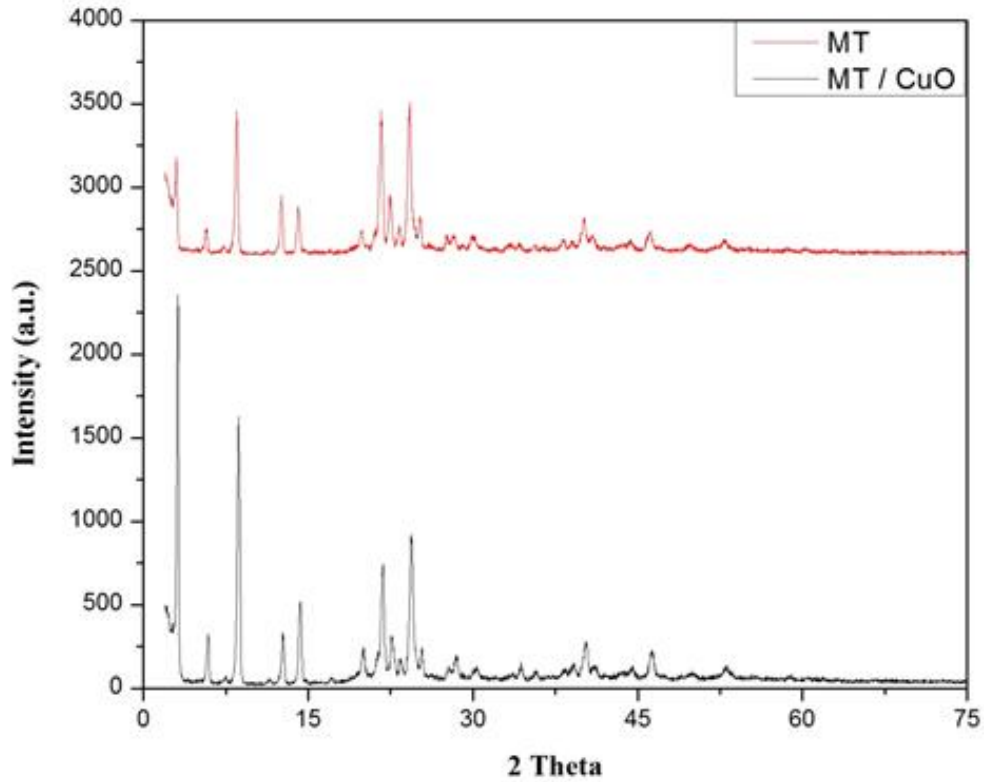


Şekil 2.8. NPKFDM ve FDM ötektik karışımın FT-IR spektrumu, a) Miristik asit, b) Tiyosinamin, c) Miristik asit – Tiyosinamin, d) Miristik asit – Tiyosinamin/ CuO

2.1.6. X Işını Kırınımı

X ışınları analizi (XRD) ile yapının difraksiyon veren düzlemleri belirlenmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre her iki numunenin de yapıda olduğu görülmüştür. Yansıma veren düzlemler hemen hemen aynıdır. Fakat yansıma şiddetleri farklıdır. Bu malzemenin yapısında bulunan değişikliklerden kaynaklanmaktadır.

NPKFDM için $2\theta = 15^\circ$ 'den önceki kısımda yansıma şiddeti fazla olmaktadır. Bunun nedeni ise malzemeye katkılanırılan CuO'dan ileri gelmektedir. Faz değıştiren maddelerin tanecik boyutları Debye-Scherrer eşitliğine göre hesaplanarak, sırasıyla miristik asit – tiyosinamin ve miristik asit – tiyosinamin/CuO için 30.68 ve 38 olarak bulunmuştur. Şekil 2.9'da karışımların XRD sonuçları verilmiştir.

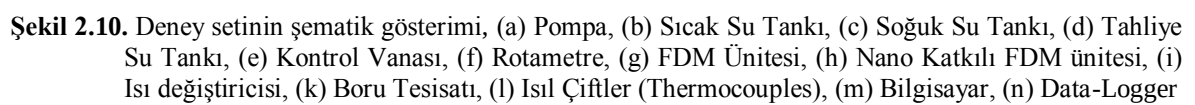


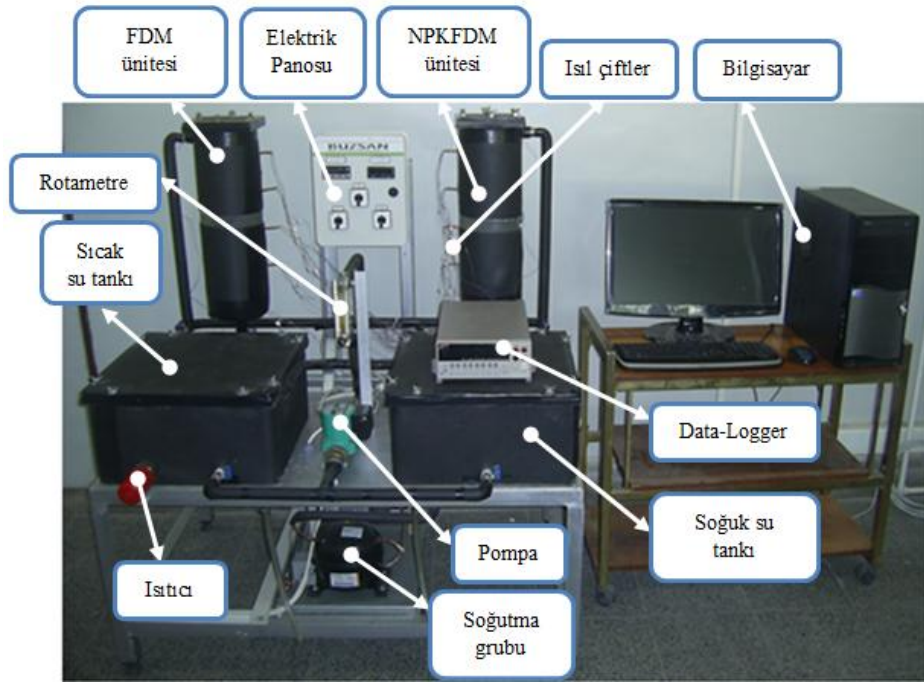
Şekil 2.9. Ötektik FDM ve NPKFDM'nin XRD sonuçları

Yapılan ötektik FDM ve NPKFDM karışımların, DSC sonuçları ve termal iletkenlikleri Ek – A bölümünün Tablo A ve B'de tüm veriler detaylı olarak verilmiştir.

2.2. Denet Setinin İmalatı

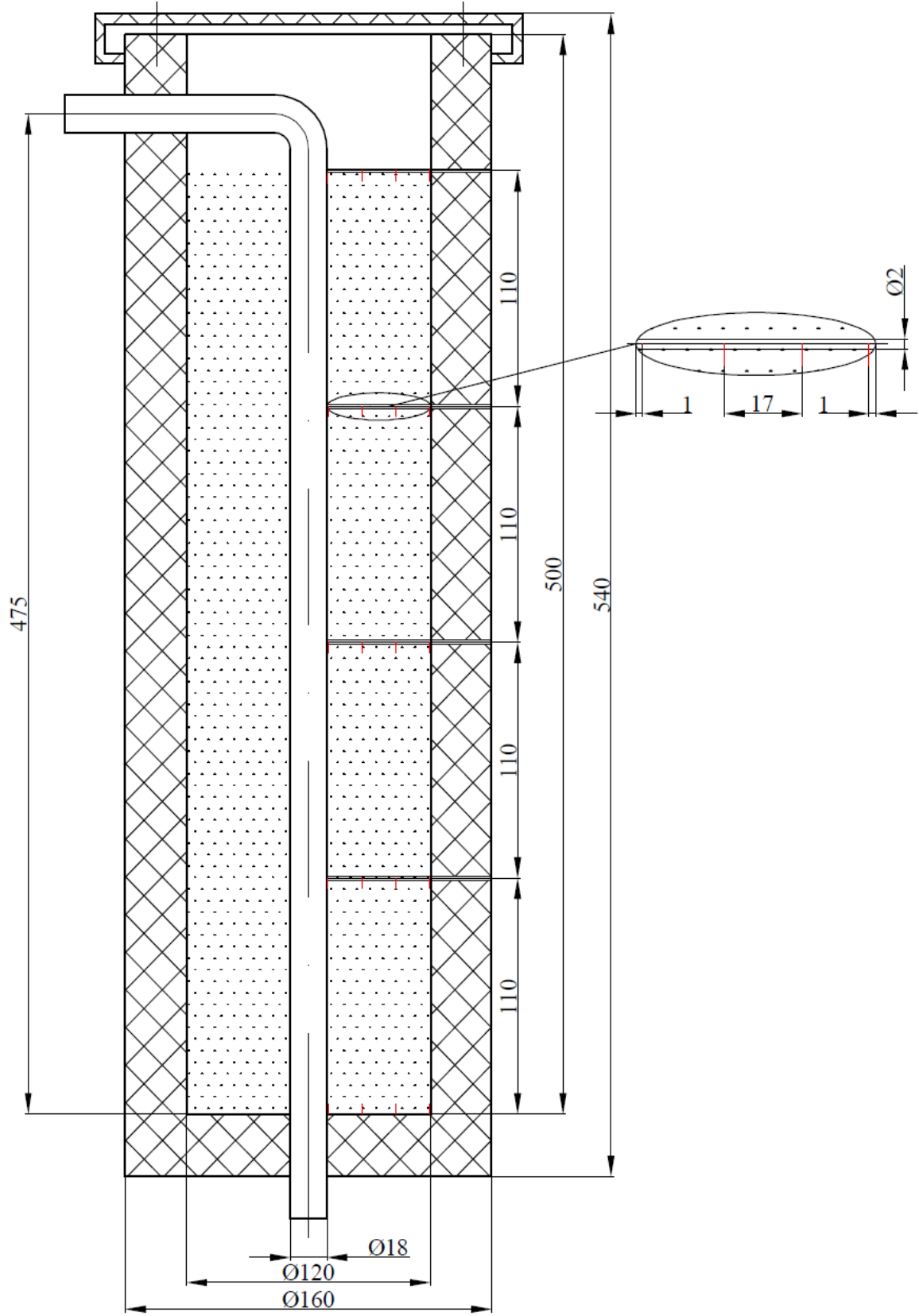
Deney setinde, iki adet ısı değıştiricisi düşünölmüştür. Bu ısı değıştiricilerden birinde, Faz Değıştiren Madde (FDM), diğetine ise Nano Parçacık Katkılı Faz Değıştiren Maddeler (NPKFDM) yerleştirilmiştir. Aynı anda hem NPKFDM'nin hem de FDM'nin erime/katılaşma süreci incelenmiştir. NPKFDM ve FDM ünitesi 120 mm çapında, 500 mm boyutlarında, et kalınlığı 1 mm olan paslanmaz çelikten, silindirik bir depo üretilmiştir. Etrafı 20 mm olacak şekilde yalıtım malzemesiyle yalıtılmıştır. Böylelikle deponun herhangi bir yerinden ısı kaybı engellenmiştir. Deponun tam ortasında olacak şekilde bir ısı değıştirici görevi gören bir bakır boru geçirmiştir. Bakır borunun çapı, 18 mm olup et kalınlığı ise 0.5 mm'dir. Deney setinin şematik gösterimi, Şekil 2.10 ve 2.11'de tüm ekipmanları birlikte gösterilmiştir.



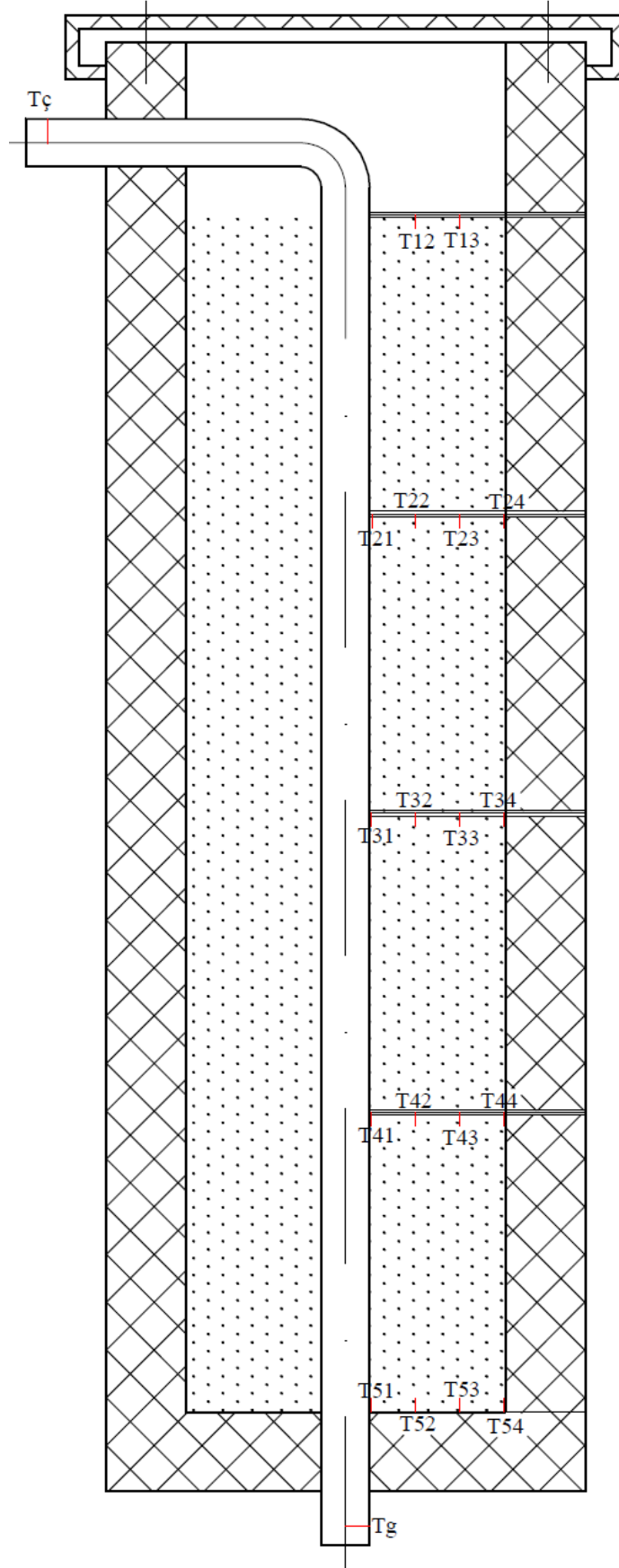


Şekil 2.11. Tüm ekipmanları ile birlikte deney seti

Erime ve katılaşma sürecinin belirlenebilmesi için depo içerisine, farklı noktalardan 20 adet ısıl çift yerleştirilmiştir. Depo içerisindeki FDM ve NPKFDM'nin, farklı noktalardan alınan sıcaklık ölçüm noktaları Şekil 2.12'de verilmiştir. Şekil 2.13'de ısıl çiftlerin depo içerisinde yatay ve dikey olarak yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.12. FDM ve NPKFDM ünitenin ölçülendirilmesi



Şekil 2.13. Isıl çiftlerin depo içerisinde yerleştirilen yatay ve dikey noktalar

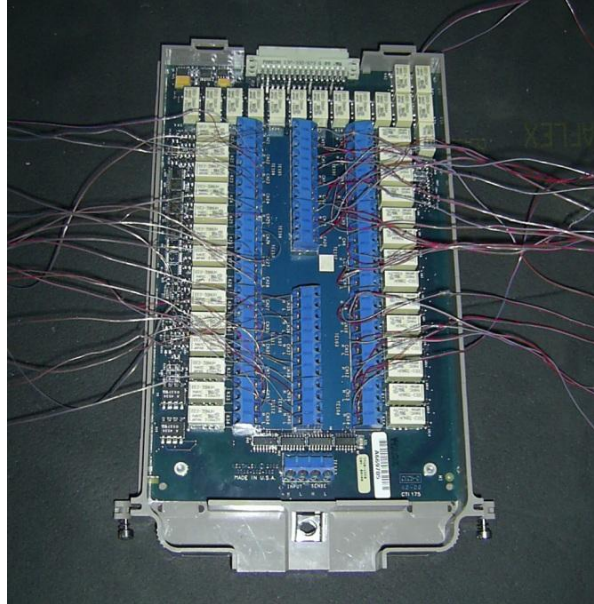
Bu çalışmada, ötektik FDM ve NPKFDM kullanılarak termal enerji depolama süreci incelenmiştir. Çalışmada yeni bir ısı değiştirici sistem tasarlanmıştır (Şekil 2.11.). Deney setinde, ötektik FDM ve NPKFDM içerisine konulduğu iki ünite, akışkanın bulunduğu iki adet ünite (sıcak ve soğuk su deposu), akışkanın kontrol edildiği rotametre, akışkanı sisteme pompaladığı sirkülasyon pompası, akışkanı kontrol etmemizi sağlayan vanalardan oluşmaktadır. Sistemden geçen tüm boruları ve depoları cam yünü malzemesiyle yalıtılmıştır.

Ötektik FDM ve NPKFDM'nin erime işlemi, sıcak su deposuna bağlı olan tüm vanaların açılmasıyla başlar. Akışkan su sisteme, ötektik FDM ve NPKFDM ünitesinin alt kısmından girip üst kısımandan çıkmaktadır. Erime işleminde kullanılan akışkanın sıcaklığı deponun içerisine yerleştirilmiş olan bir ısıtıcı vasıtasıyla ısıtılır. Akışkanın sıcaklığını sabit sıcaklıklarda tutmak için deponun içerisine ısı sensörleri yerleştirilmiştir. Bu sensörler ayarlanan sıcaklığın 5 °C altında ve üstüne ulaştığında elektrik panosu yardımıyla otomatik olarak açılıp kapatılmaktadır. Böylelikle sistemin içindeki akışkan devamlı olarak aynı sıcaklıkta tutulmuştur. Akışkan su istenilen sıcaklığa ulaştığında sirkülasyon pompası yardımıyla sisteme pompalanmaktadır. Sisteme giren akışkanın debisini kontrol edebilmek için pompanın çıkışına bir rotametre konulmuştur. Böylelikle sistemde farklı debilerde çalışmalar yapılmıştır. Rotametreden çıkan akışkan, ötektik FDM ve NPKFDM ile doldurulmuş olan depoların içerisinde ısı değiştirgeci görevi gören bakır borulardan akışkan geçmektedir. Akışkan ısı değiştirgeçlerinden geçerken ısının bir kısmını depo içerisinde bulunan ötektik FDM ve NPKFDM'ye aktarır ve tekrardan sıcak su deposuna döner. Böylece zaman ilerledikçe deponun içerisindeki ötektik FDM ve NPKFDM erime gerçekleşir. Bu erime işlemi ötektik FDM ve NPKFDM deposunun içerisine belirli noktalara yerleştirilmiş olan ısı çiftler data-logger yardımıyla ölçümler alınmıştır. Ötektik FDM ve NPKFDM'nin erime noktalarına kadar bu işlem devam edilmiştir.

Depo içerisindeki ötektik FDM ve NPKFDM tamamen erime gerçekleştikten sonra katılaşma işlemi yapılmıştır. Bu katılaşma işlemi için daha önceden açık olan vanalar kapatılıp soğuk su deposuna bağlı olan vanalar açılmıştır. Soğuk su deposundaki suyu soğutmak için içerisine soğutma gurubuna ait serpantinler yerleştirilmiştir. Sıcak su deposunda olduğu gibi soğuk su sıcaklığını sensörler yardımıyla ayarlanmıştır. Gerekli sıcaklığa ulaştığında sirkülasyon pompası yardımıyla sisteme gönderilmiştir.

Soğuk akışkan ısı değiştirgeçten geçerken erimiş halde olan ötektik FDM ve NPKFDM katılaştırmaktadır. Katılaştırma işlemi depo içerisindeki ısı çiftlerin oda sıcaklığına ulaştığı görülene kadar devam edilmiştir.

Farklı noktalardan alınan ısı çiftler 40 kanallı çoklayıcısı bulunan KEITHLEY 2701 marka data-logger yardımıyla, sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çoklayıcı ve data-logger Şekil 2.14 ve 2.15’de gösterilmektedir. Deneyde kullanılan ısı çiftler, OMEGA® ‘dan temin edilen T-tipi bakır kobalt (Cu-Co), çift yalıtımlı teflon ısı çiftlerle gerçekleştirilmiştir. Isıl çiftlerin ölçüm aralıkları $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$, hassasiyeti ise ± 0.69 ’dur.

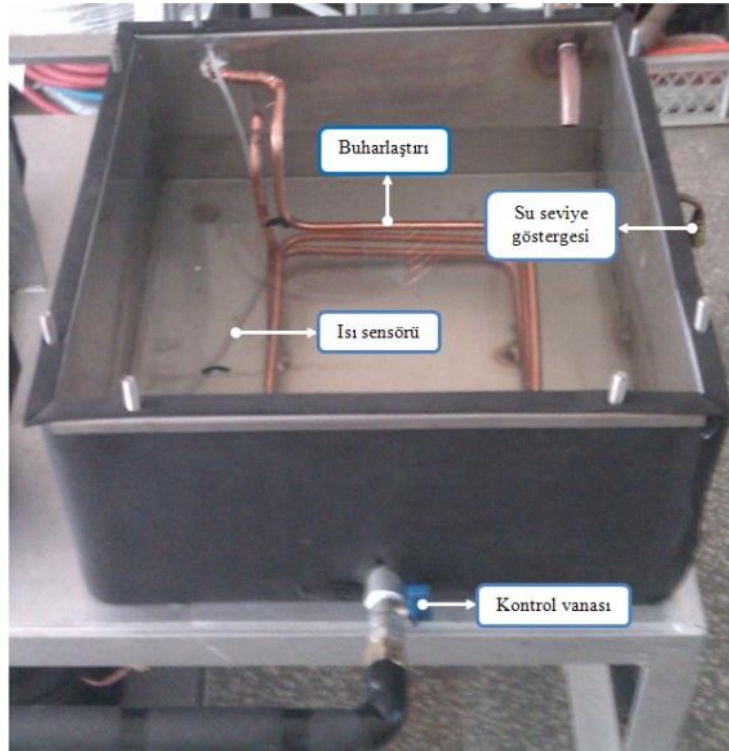


Şekil 2.14. 40 kanallı çoklayıcıya bağlanmış olan ısı çiftlerin gösterimi



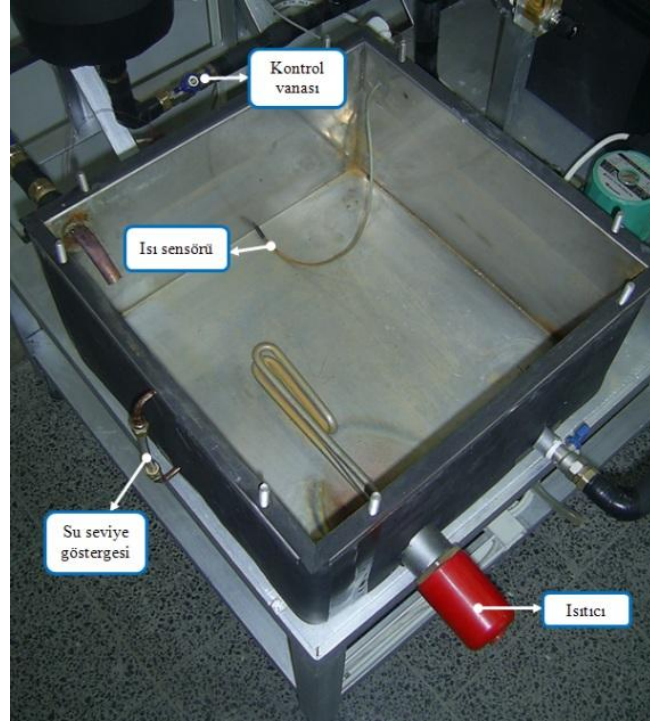
Şekil 2.15. KEITHLEY 2701 marka data-logger

Sistemde, FDM ve NPKFDM'yi erime ve katılaşmayı sağlamak için 2 farklı su deposu (sıcak ve soğuk) üretilmiştir. Bu depolar, 400x400x20 mm boyutlarında olan 1 mm kalınlığa sahip paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Sıcak su deposunun içersine 80 °C'ye kadar çıkabilen bir ısıtıcı yerleştirilmiştir. Aynı şekilde soğuk su deposunda da 5 °C 'ye kadar soğutma yapabilen bir soğutucu ünitesi yerleştirilmiştir. Depolar Şekil 2.16 ve 2.17'de gösterilmektedir. Depoların çevreye ısı geçişini engellemek için etrafı 10 mm kalınlığında yalıtım malzemesiyle yalıtılmıştır. Depo içersindeki sıcaklığı ve soğukluğu, sabit bir şekilde FDM ve NPKFDM ünitelerine gönderebilmek için su deposunun içersine sıcaklık algılayıcısı olan iki adet ayarlanabilen termostat yerleştirilmiştir. Bu sayede, sisteme giden akışkan daima sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Sisteme giren ve çıkan akışkanın sıcaklığını belirlemek için her bir ünitenin giriş ve çıkışına 4 adet ısıl çift yerleştirilmiştir.

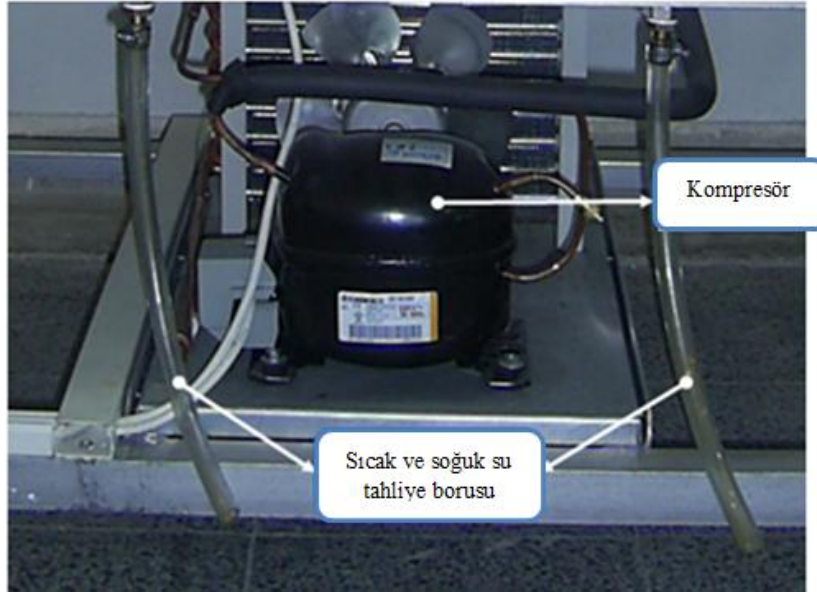


Şekil 2.16. Soğuk su deposu ve iç yapısının gösterimi

Sıcak su ve soğuk su deposundaki su miktarının gözlemlenebilmesi için sıcak ve soğuk su deposunun her birine su seviye göstergesi yerleştirilmiştir. Deponun içindeki akışkanı tahliye edebilmek için depo altlarına birer adet tahliye boruları monte edilmiştir. Su seviye göstergeleri ve tahliye boruları Şekil 2.17 ve 2.18'de gösterilmektedir.



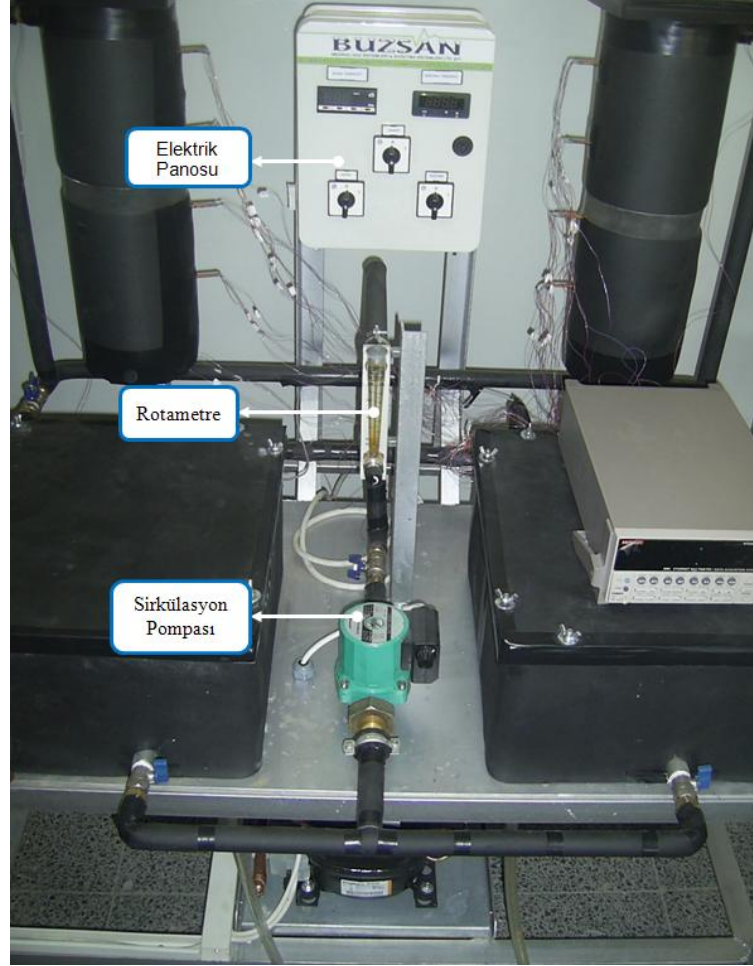
Şekil 2.17. Sıcak su deposunun gösterimi



Şekil 2.18. Soğutucu ve tahliye borusunun gösterimi

Deneyde kullanılan akışkanı sisteme gönderilmesi için gerekli olan pompanın özellikleri, WELKO LRS40-6S/130 model olup, pompa kapasitesi maximum 6 metre basınçta, debisi $3.9 \text{ m}^3/\text{h}$ olan, bağlantı uzunluğu 180 mm, bağlantı giriş ve çıkış ölçüleri $1\frac{1}{2}$ " - 1" ve kapasitesi 25-40000 kcal/h sahip olup aynı zaman da 3 kademeli hız kontrolüne sahiptir. Böylelikle de sisteme 3 farklı debiye sahip akışkan gönderilebilmektedir.

Pompanın sahip olduğu debilerden farklı bir debinin belirlenmesi durumunda, üzerinde debi ayar vanası ile arzu edilen debi miktarı ayarlanmıştır. Pompa ve rotametreyi Şekil 2.19’de gösterilmiştir. Tüm bu sistem bir elektrik panosu yardımıyla kontrol edilmektedir.

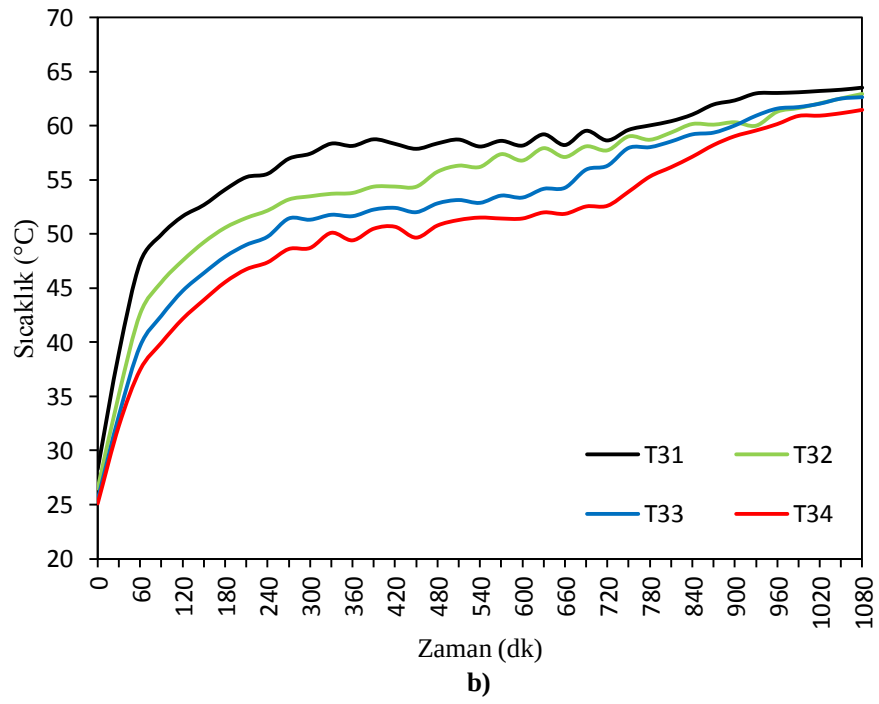
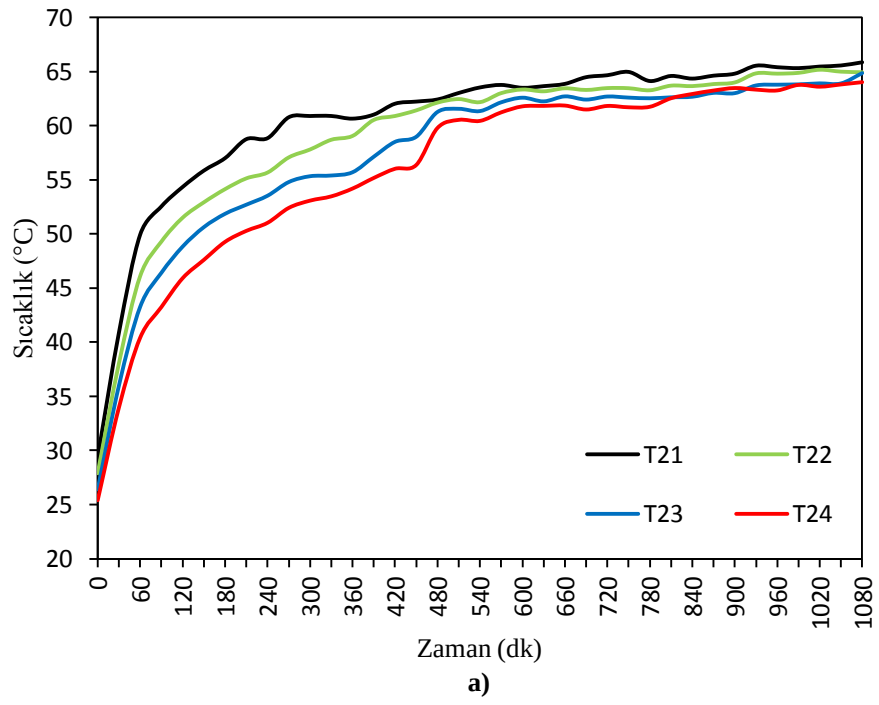


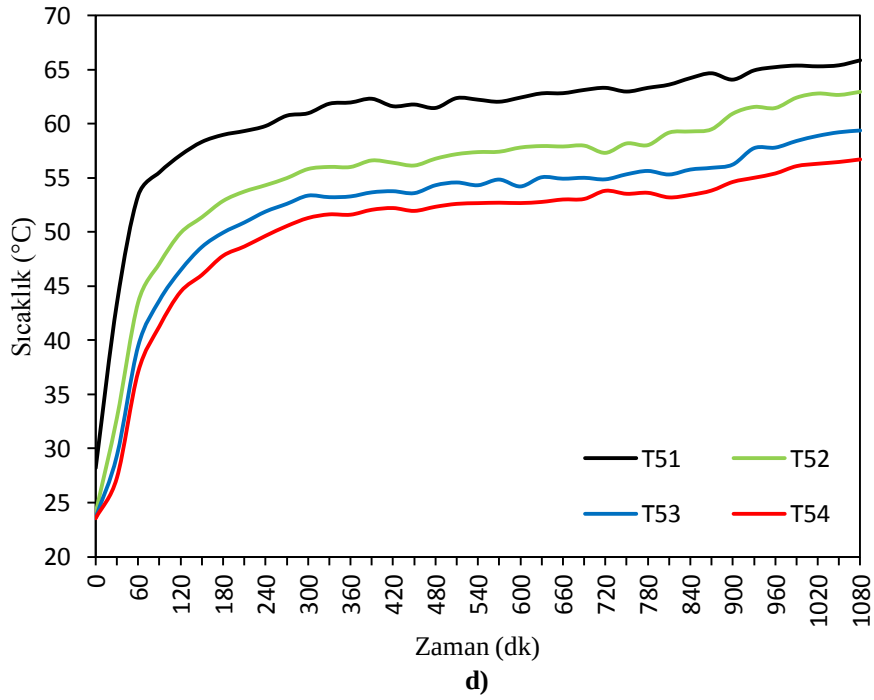
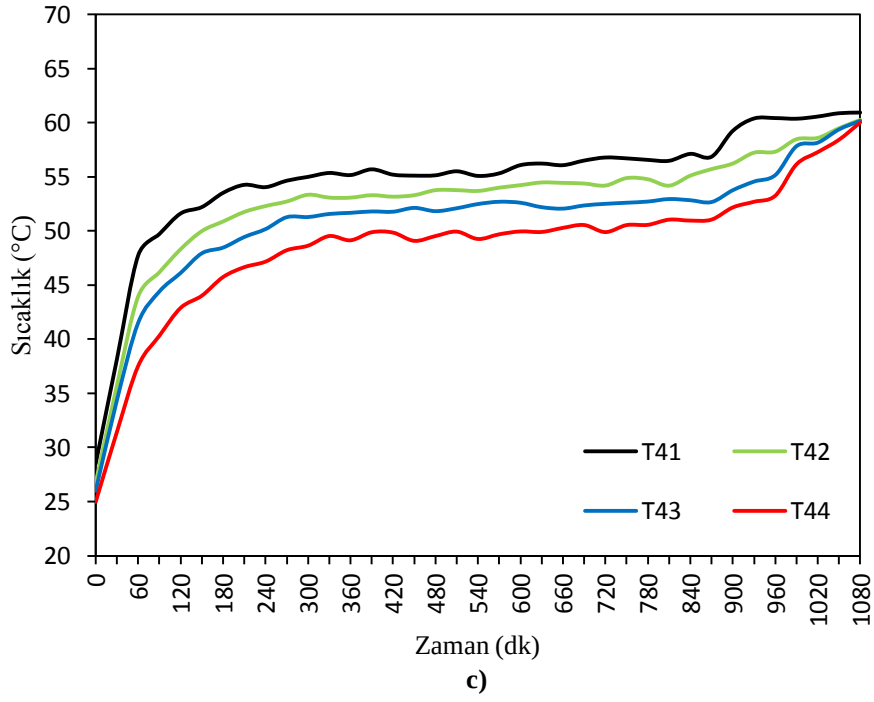
Şekil 2.19. Sirkülasyon pompası, rotametre ve elektrik panosunun gösterimi

3. BULGULAR

Bu çalışmada, organik, inorganik ve tuz hidrat gibi birçok kimyasal madde belirlenmiştir. Belirlenen bu maddelerden, termal iletkenliği düşük olan FDM'ler, ötektik bir karışım hazırlanarak saf hallerinden daha iyi olan bir termal iletkenlik sağlanmıştır. Ötektik karışım belirlendikten sonra, içerisine farklı oranlarda nanoparçacık ilave edilerek, saf hallerinden ve ötektik hallerinden daha iyi özelliklere sahip termal iletkenlikler bulunmuştur. Hazırlanan ötektik karışım ve nanoparçacık katkılı FDM'nin, erime/katılaşma süreçlerini deneysel olarak düşey bir silindirik bir depoda incelenmiştir. Depo içerisine gönderilen ısı transfer akışkanının (su) üç farklı debide (2, 3 ve 4 kg/dk) ve ısı transfer akışkanının giriş sıcaklığını 70, 73, 75 ve 77 °C'da erime zamanları, 20 ve 25 °C'lerde katılaşma zamanları incelenmiştir. Deneyler, oda sıcaklığında başlatılıp ötektik FDM'nin ve NPKFDM'nin erime noktasına gelinceye sistem çalıştırılmıştır. Katılaşmada ise erimiş halde bulunan ötektik FDM ve NPKFDM'yi tekrardan oda sıcaklığına ulaşana kadar soğutulmuştur. Deneyde erime ve katılaşma işlemleri, akışkanın farklı giriş sıcaklık ve kütsel debilerinde tekrarlanmıştır. Burada, tez içeriğini fazla tutmamak amacıyla sadece bir sıcaklık ve debiden alınan sonuçlar verilmiştir. Diğer sonuçları Ek – B ve Ek – C kısmında sunulmuştur.

Depo içerisine yerleştirilmiş olan ötektik FDM karışımın erime süreci boyunca yatay olarak alınan sıcaklık ölçümleri zamana bağlı olarak Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Sisteme giren akışkanın sıcaklığı 70 °C olup, kütsel debisi 3 kg/dk sabit bir şekilde sisteme gönderilmiştir. Depo içerisindeki ısı çiftlerinin yerleştirildikleri, Şekil 2.4’de gösterilen dikey ve yatay noktalar ifade etmektedir. Dikey olarak ifade edilenler T21, T31, T41 ve T51 gibi merkezden geçen ısı değiştirgeciye paralel olan konumları, yatay noktalar ise ısı değiştirgecine dik konumda olan T21, T22, T23 ve T24 gibi noktaları ifade eder. Yatay olarak alınmış olan ölçüm noktaları Şekil 3.1’de görüldüğü gibi erime zamanları yukarıdan aşağıya ve merkezden depo cidarlarına doğru erime sürecinin başladığı görülmektedir. Şekil 3.1. (c) incelendiğinde deponun merkezinden T41’den başlayıp, T44 noktasına göre hızla faz değişim sıcaklığına erişerek, faz değişiminin gerçekleştiği görülmektedir.



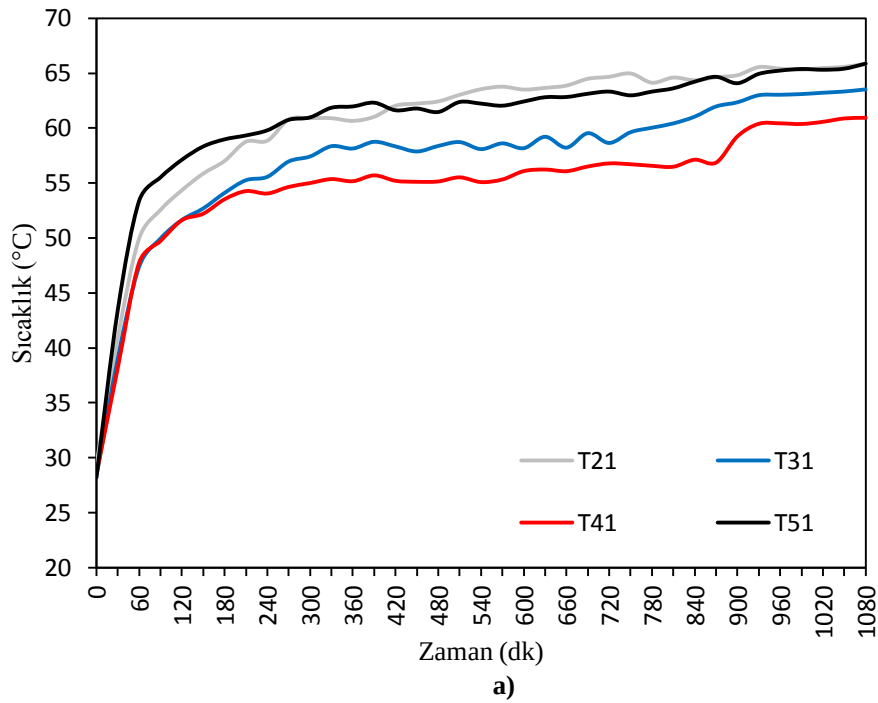


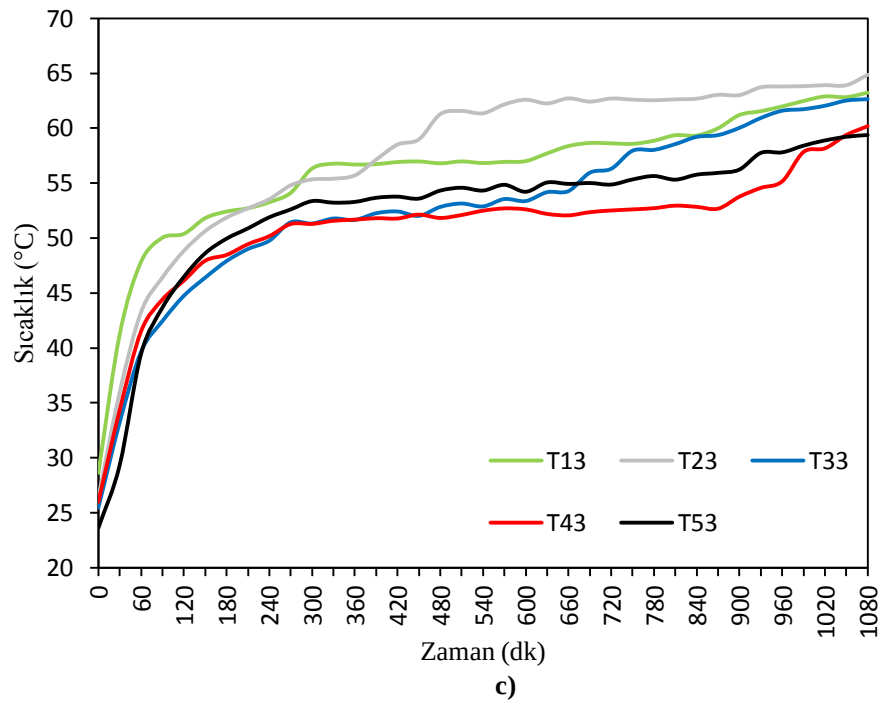
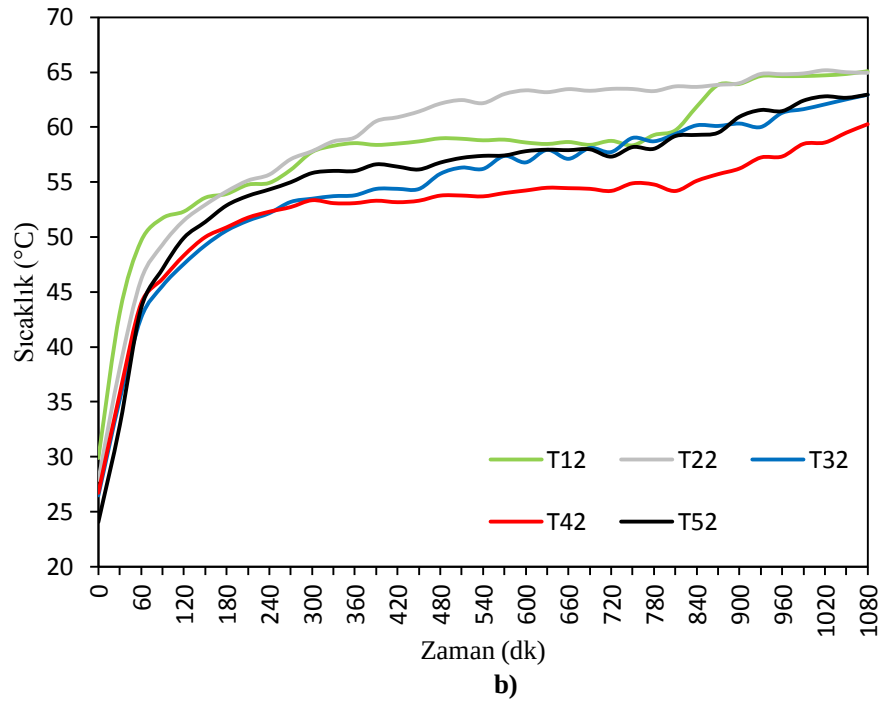
Şekil 3.1. Yatay olarak yerleştirilmiş olan ısıtıcı çiftlerin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$) a) 2'nolu ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi,

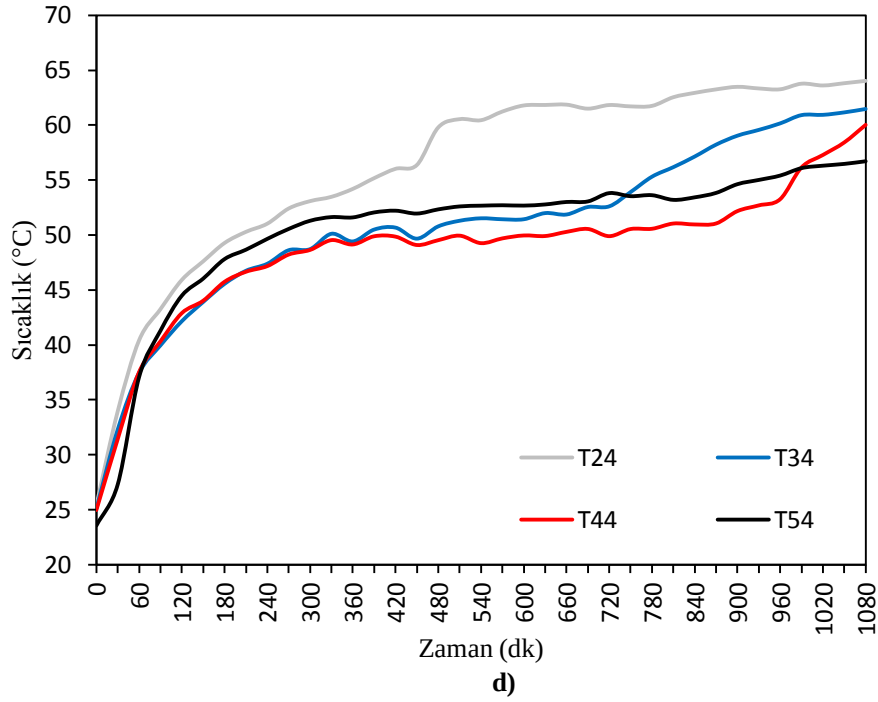
Depo içerisindeki dikey olarak yerleştirilmiş olan ısıtıcı çiftlerin belirli noktalardaki sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.2 (b) incelendiğinde, erime işlemi düşey silindir deponun en üst noktadan başlayıp (T12) cidar noktasına yakın olan (T42) yere doğru bir erime gerçekleşmektedir.

Normalde erime işleminin en son faz değişiminin olacağı yer olan T52 noktası, T42 göre daha önce faz değiştirilmesinin nedeni, merkezde bulunan bakır borunun içerisindeki akışkan aşağıdan yukarıya doğru hareket ettiği için cidarlara yakın olduğundan ve ısı transferi daha erken gerçekleştiğinden dolayı faz değişimi daha önce gerçekleşmektedir. Merkezden uzaklaştıkça bu erime zamanı normale dönmektedir.

Şekil 3.1. ve 3.2’de 70 °C sıcaklıkta ve 3 kg/dk kütleli debide erime zamanı hem yatay hem de dikey noktalarda ki ısı çiftlerinin değerlerine bakılarak incelendiğinde, ötektik FDM’nin ölü nokta olarak görülen T54 noktasında tamamen faz değişimi gerçekleşip sıvı faza geçmesi 1080 dk’da (18 saat) gerçekleşmiştir.

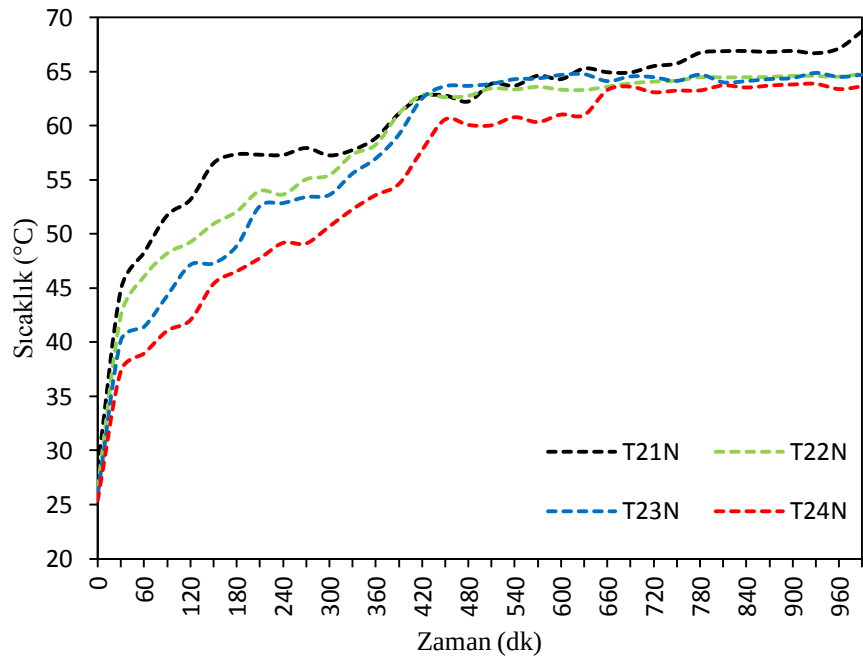




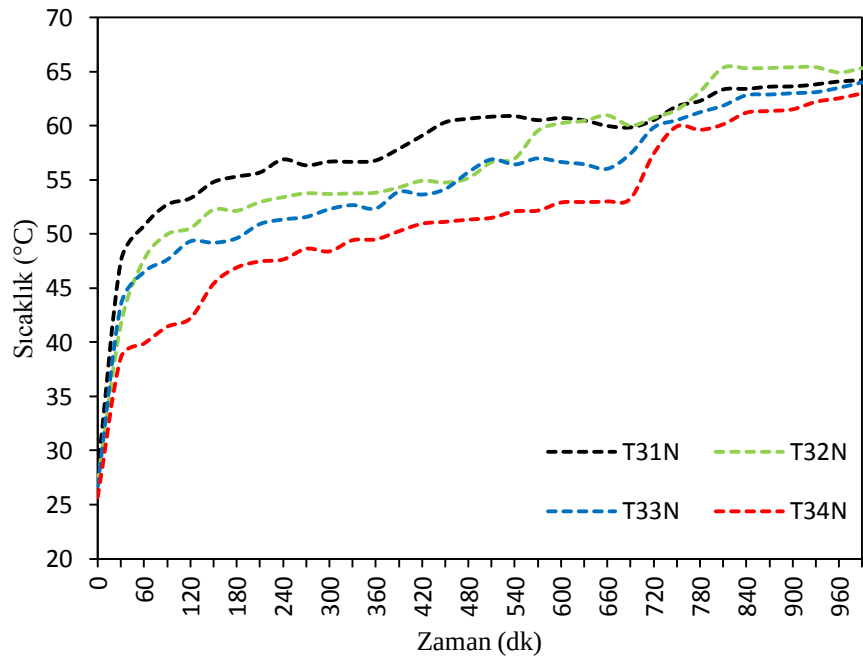


Şekil 3.2. Dikey olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

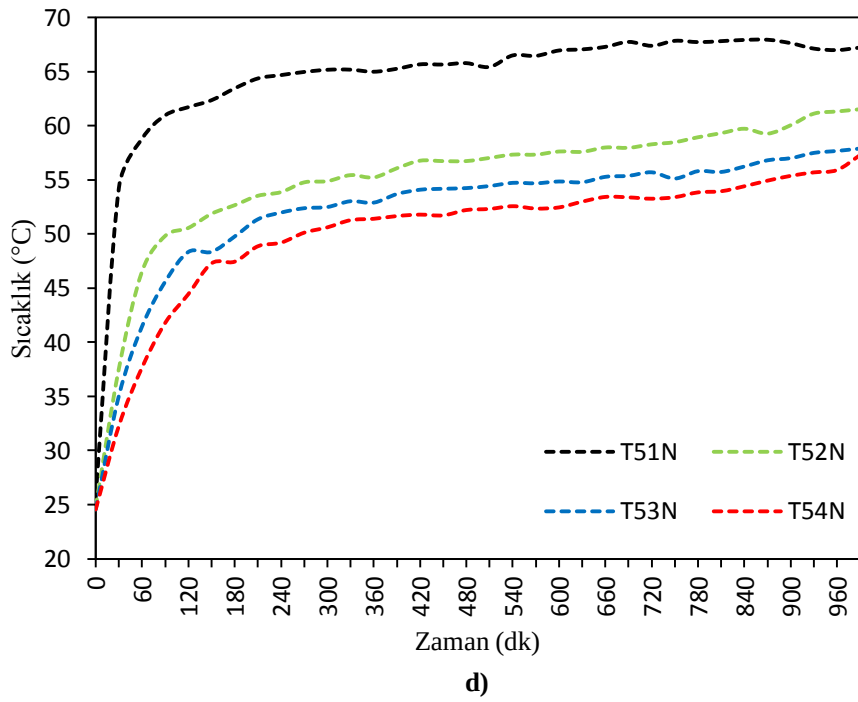
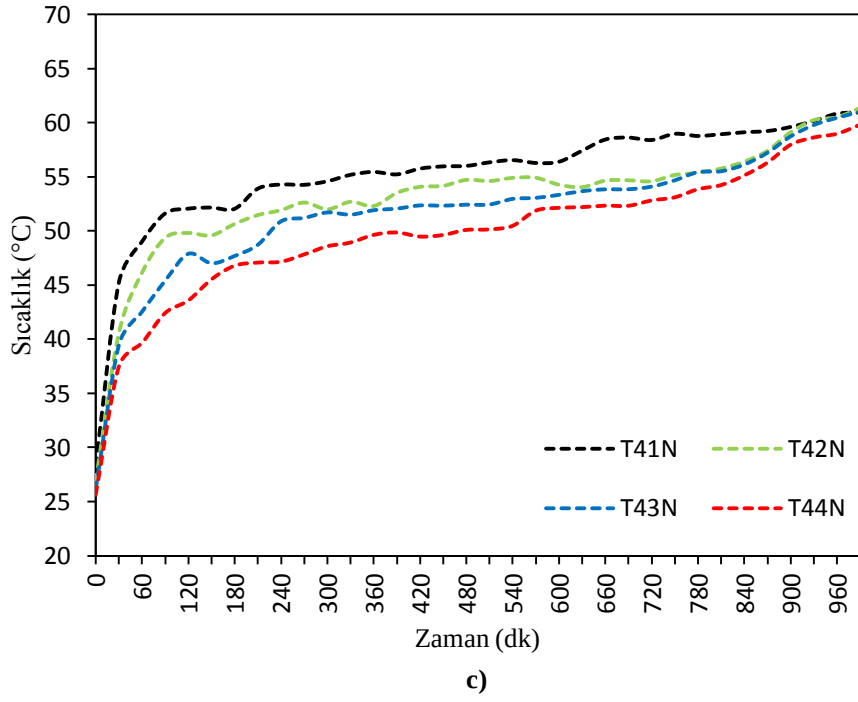
Deney seti kurulumunda, hem ötektik FDM'nin hem de NPKFDM'nin erime/katılaşmasını gözlemleyebilmemiz için iki depo ünitesi üretilmiştir. İkinci depoya yerleştirilmiş olan NPKFDM'nin, yatay ve dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı sıcaklık değişimleri Şekil 3.3 ve 3.4'de gösterilmiştir. NPKFDM, ötektik FDM'de olduğu gibi ısı değiştiricilere yakın olan noktalardan ve deponun üst kısmından faz değiştirmeye başlayıp depo cıdarının en alt noktasına doğru bir faz değişimi gerçekleşmiştir. NPKFDM ölü noktası olarak ifade edilen T54 noktasının tamamen faz değiştirmesi 990 dk'lık bir süre içinde (16.5 saat) gerçekleşmiştir.



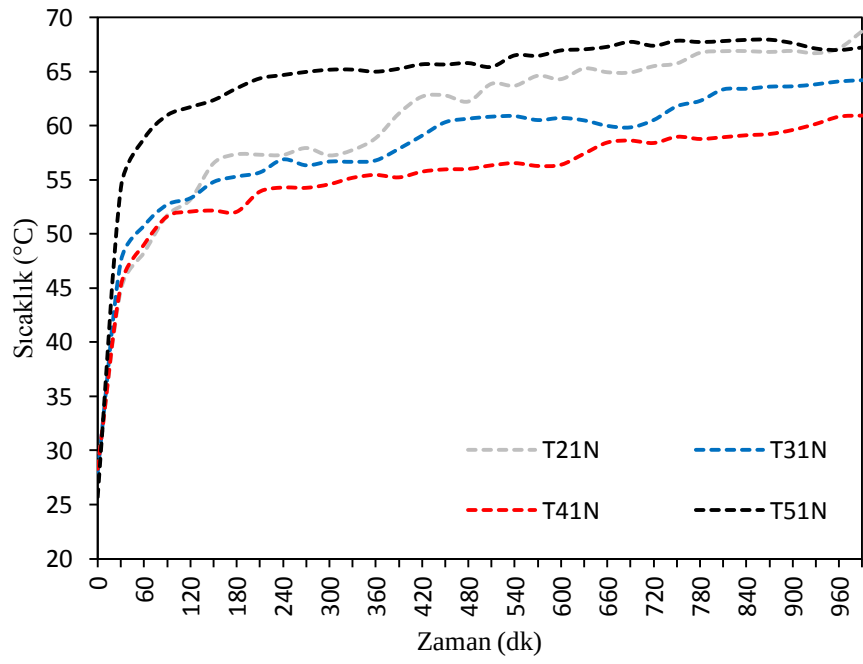
a)



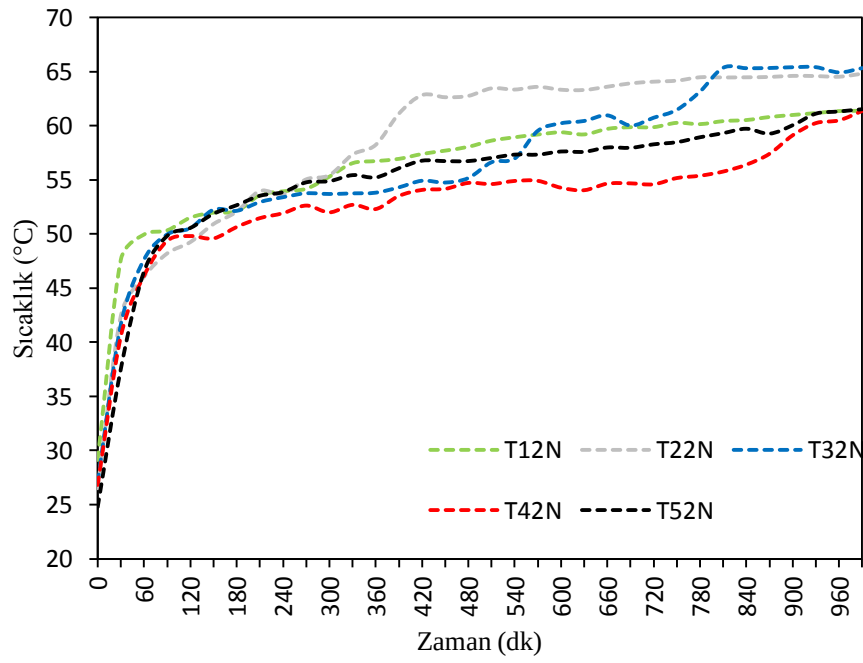
b)



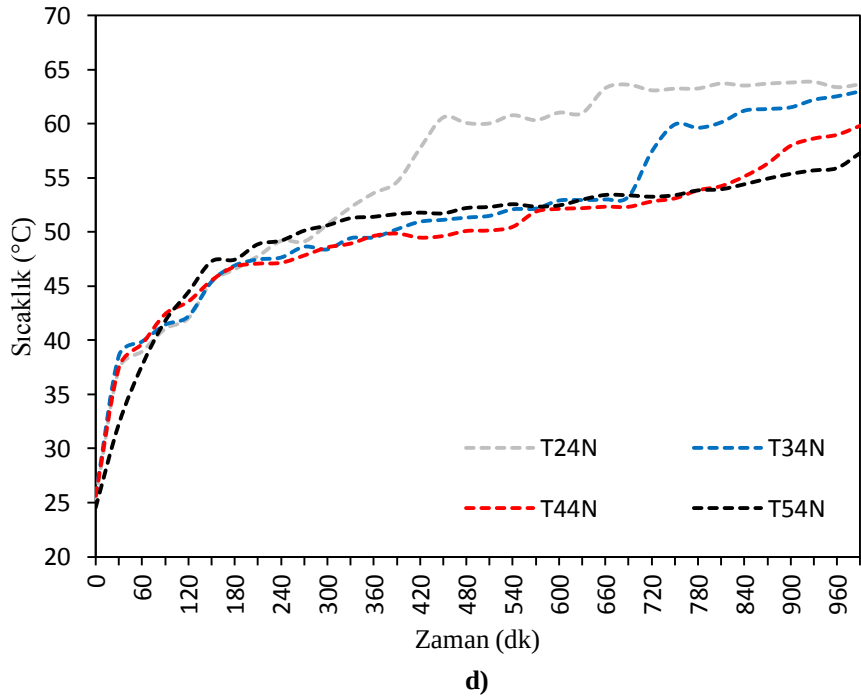
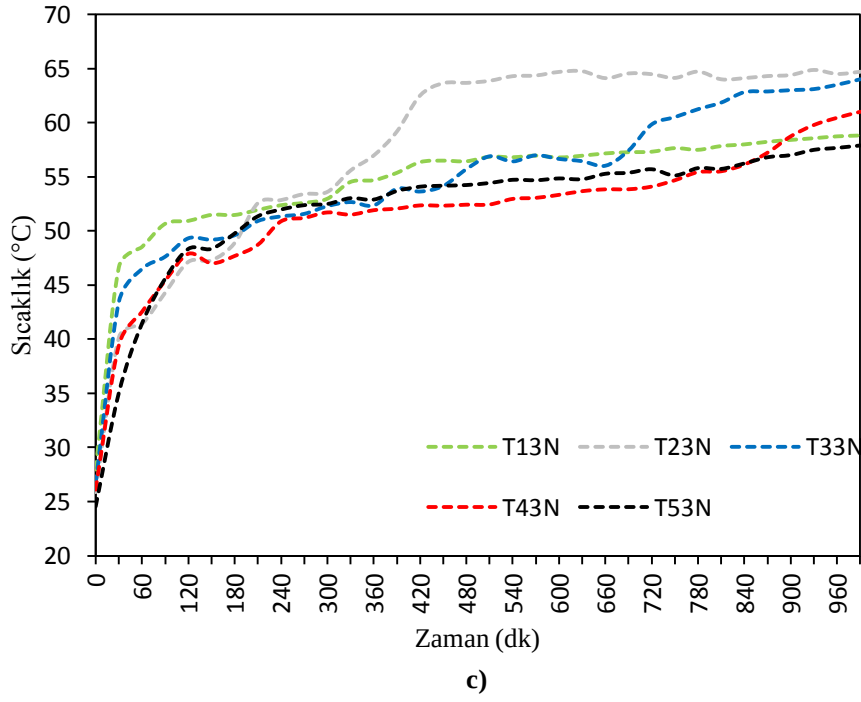
Şekil 3.3. Yatay olarak yerleştirilmiş olan ısıtıcı çiftlerin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 2'nci ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, b) 3'ncü ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, c) 4'ncü ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, d) 5'nci ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi,



a)



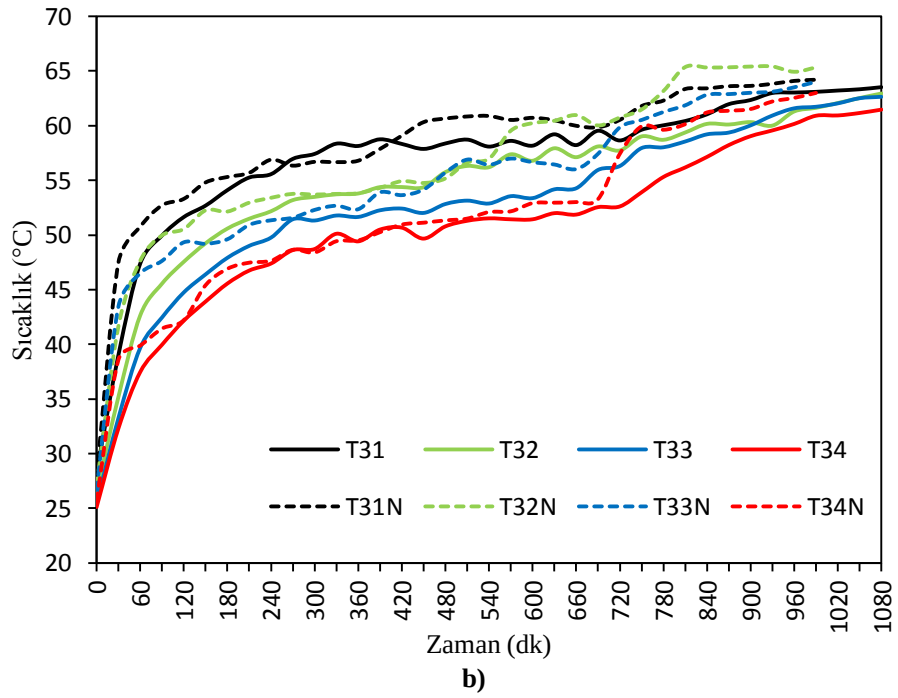
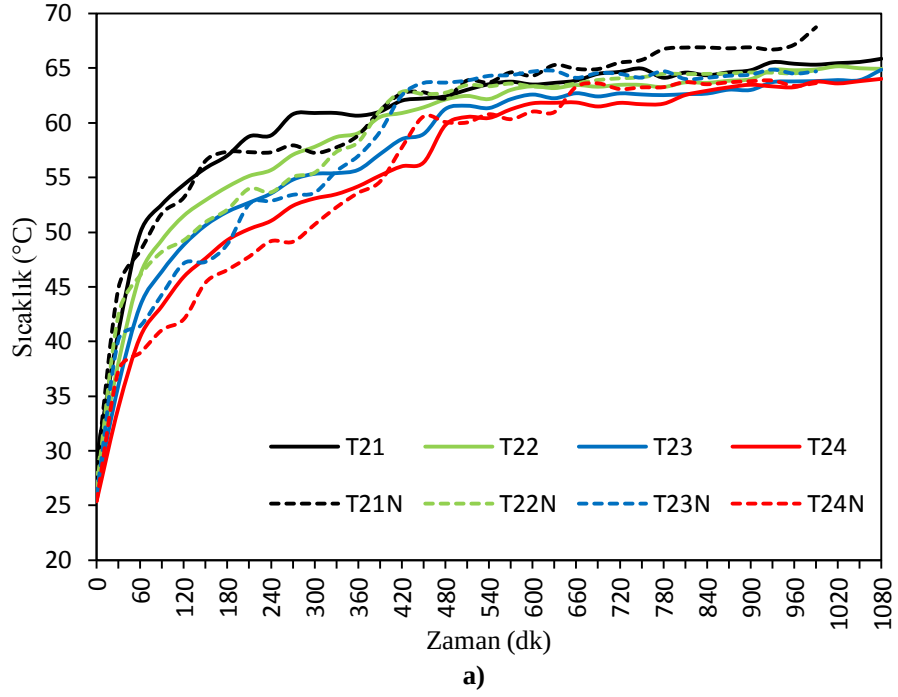
b)

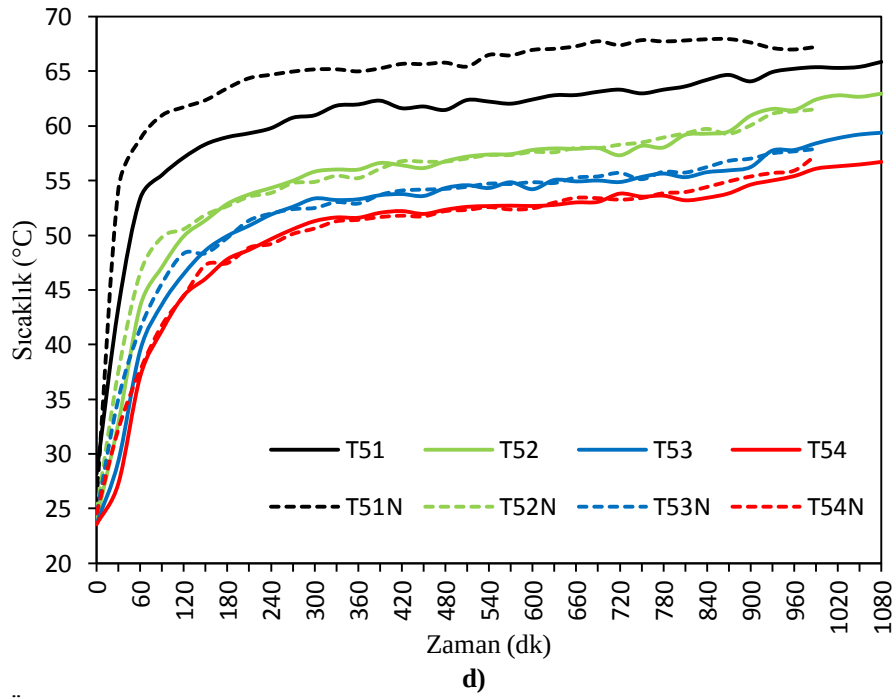
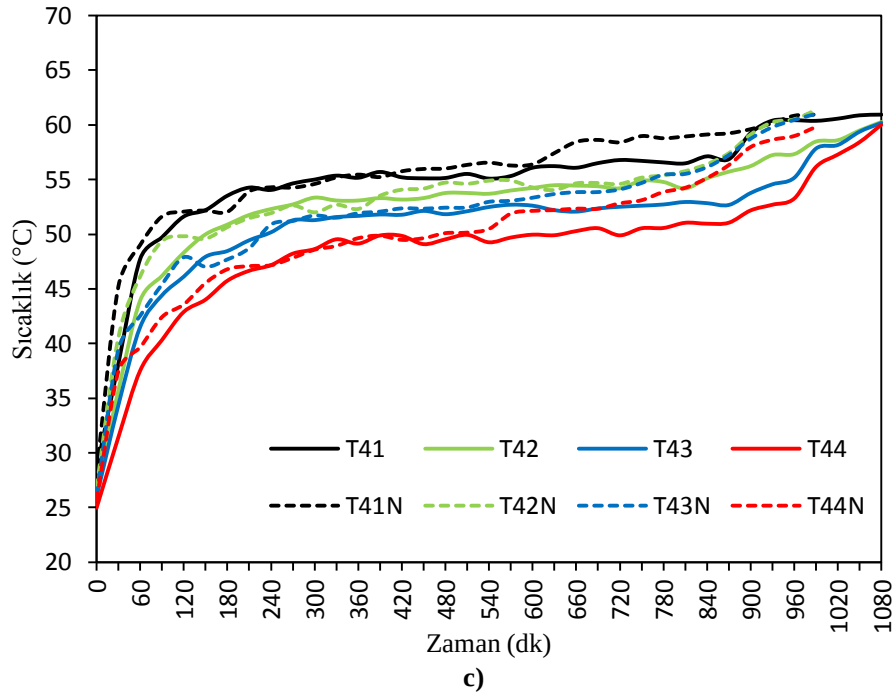


Şekil 3.4. Dikey olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimleri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 1' nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2' nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3' nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4' nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

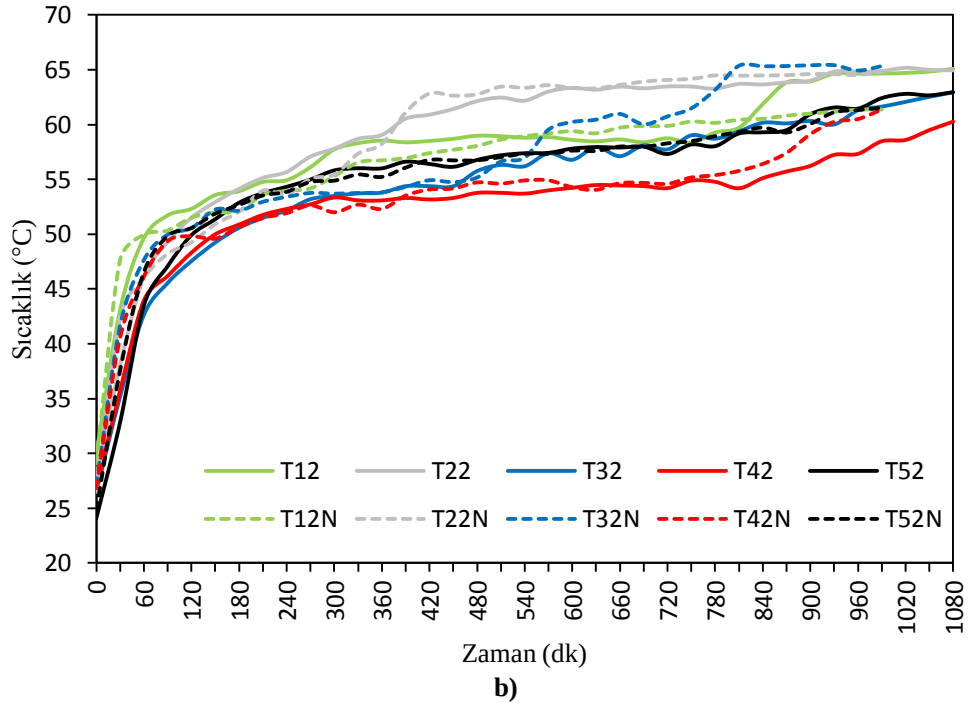
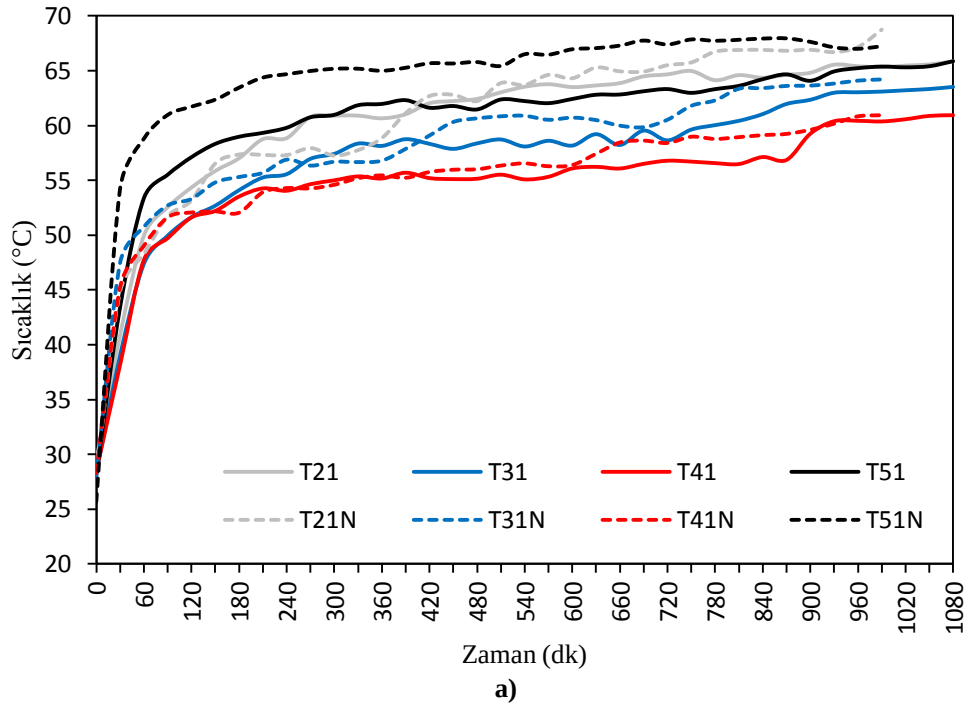
Ötektik FDM ve NPKFDM'lerin içerisine dikey ve yatay olarak yerleştirilmiş olan ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimlerinin kıyaslanması, Şekil 3.5 ve 3.6'da gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, ötektik FDM'nin erime süresinin 1080 dk, NPKFDM'nin ise 990 dk sonra tamamen faz değiştiğini gözlenmektedir.

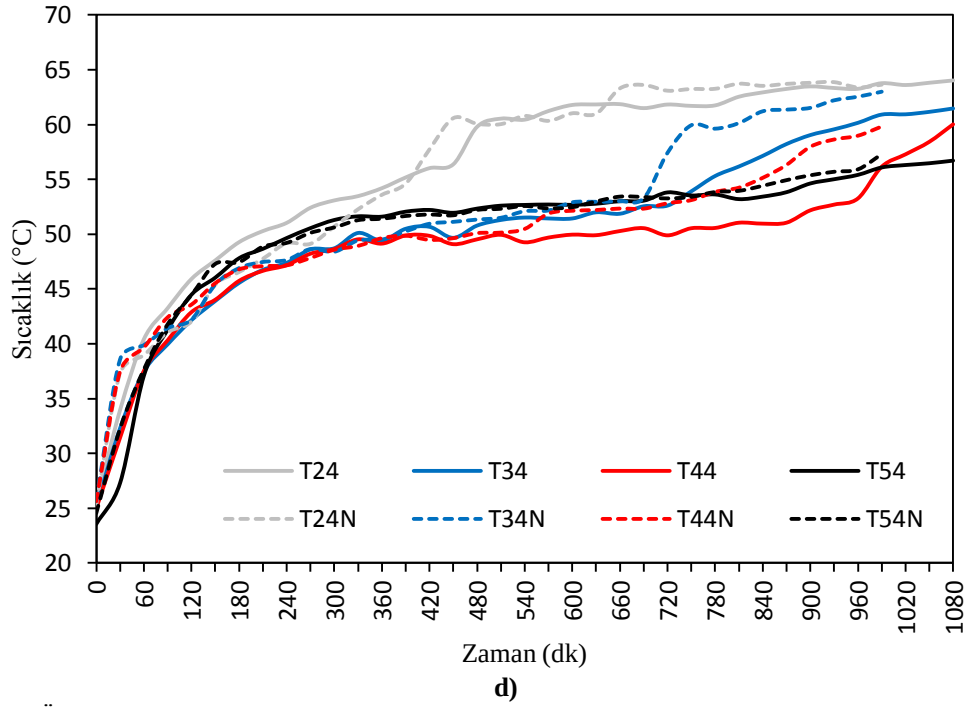
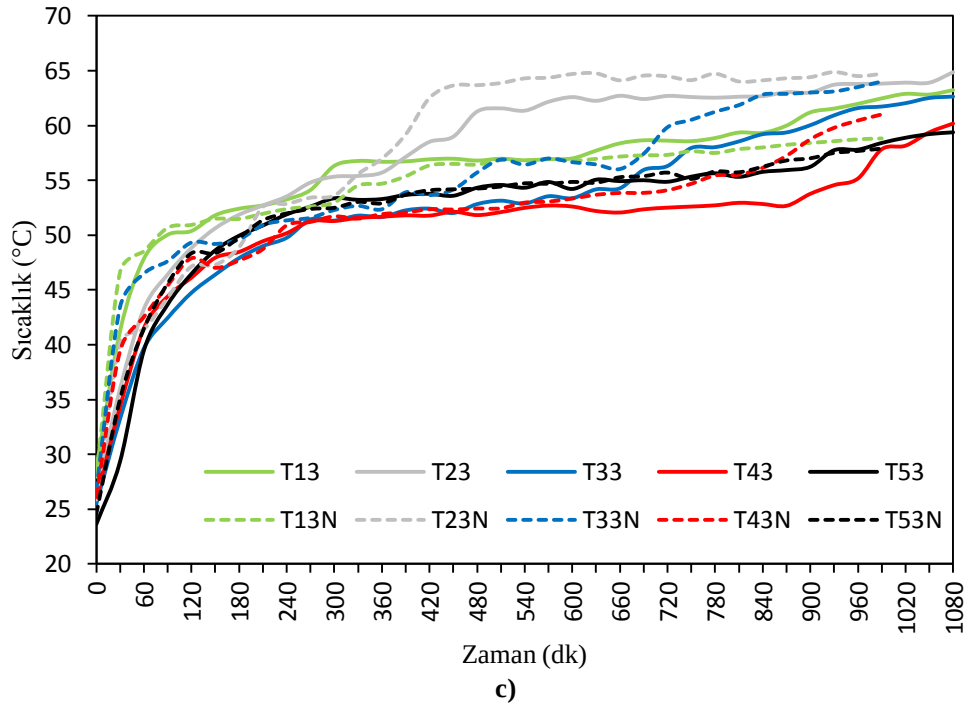
Ötektik FDM'nin termal iletkenliğini iyileştirmek, erime zamanının daha kısa sürede gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 3.5 (c) incelendiğinde erime zamanının süresinin kısaldığını net bir şekilde görülmektedir.





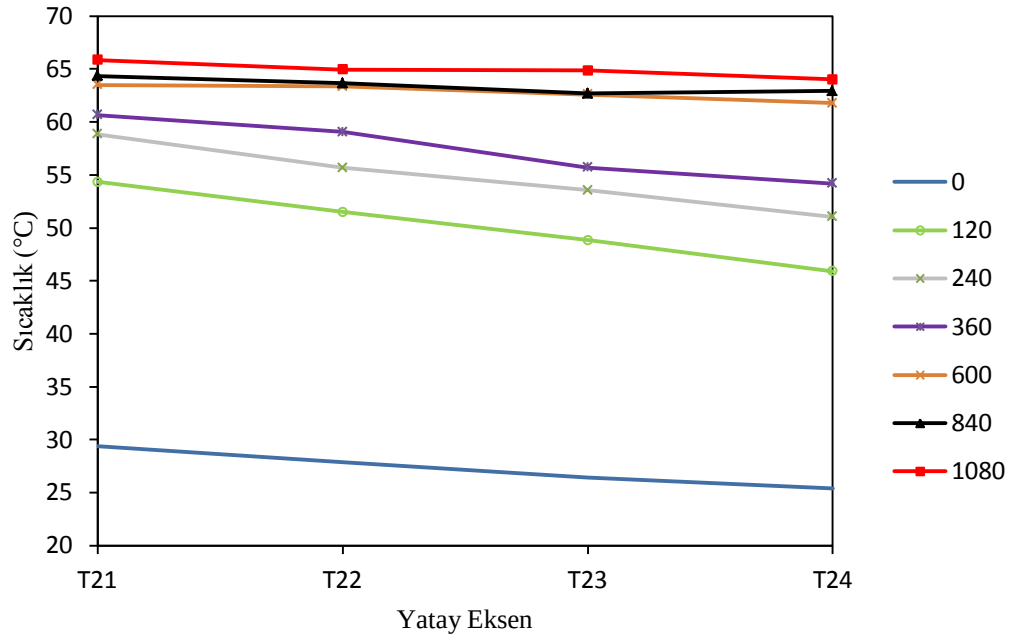
Şekil 3.5. Ötektik FDM ve NPKFDM'lerin içerisine yatay olarak yerleştirilmiş olan ısıtıcı çiftlerin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimlerinin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısıtıcı çiftin sıcaklık değişimi,



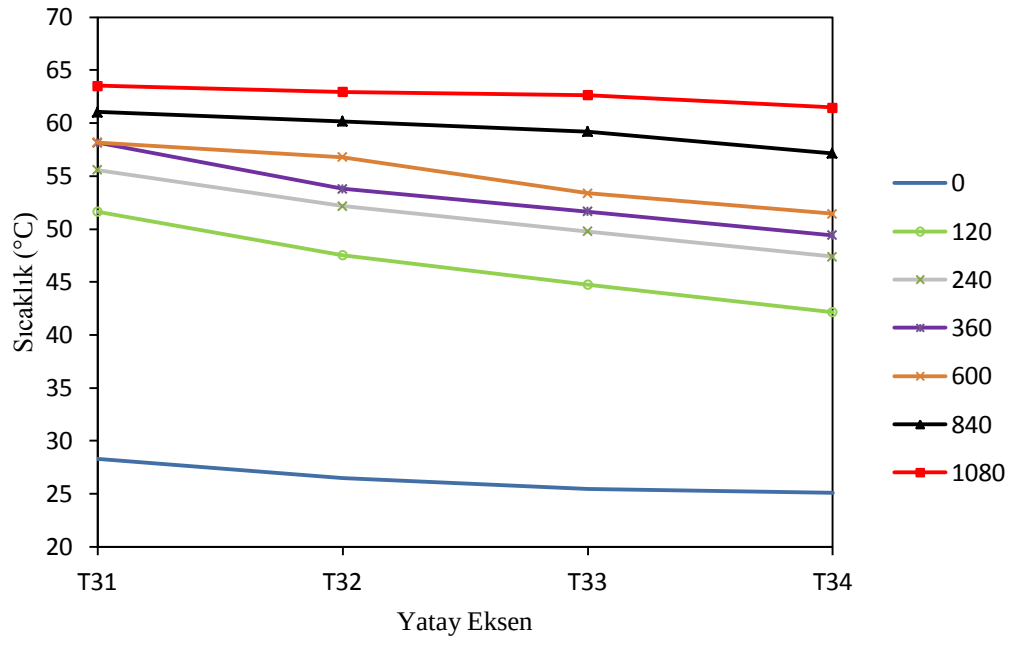


Şekil 3.6. Ötektik FDM ve NPKFDM'lerin içerisine dikey olarak yerleştirilmiş olan ısıt çiftlerin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimlerinin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısıt çiftin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısıt çiftin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısıt çiftin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısıt çiftin sıcaklık değişimi,

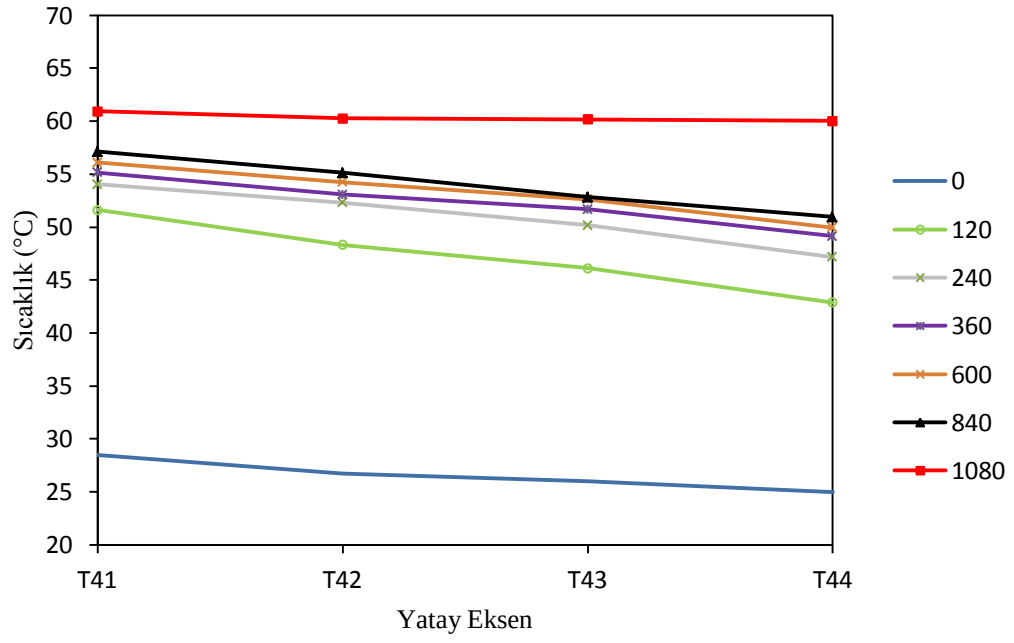
Erime işlemi sırasında, zamana bağlı olarak yatay ve dikey noktaların ötektik FDM'nin sıcaklık değişimi Şekil 3.7 ve 3.8'de verilmiştir. Çalışmalarda, katı fazda bulunan ötektik FDM'ye ısı transfer akışkanını 70 °C sıcaklıkta ve kütleli debiyi 3 kg/dk ile sonuçlar alınmıştır. Sıvı katı faz değişimi gerçekleşene kadar devam edilmiştir. Hem dikey hem de yatay doğrultuda da ötektik FDM karışımının sıvı katı faz değişimi, ısı değiştirgeci borudan başlayıp, deponun cidarlarına doğru bir erime gerçekleşmiştir. Erime süresi tamamen katı - sıvı faz değişimine ulaşması 1080 dk'da tamamlanmıştır.



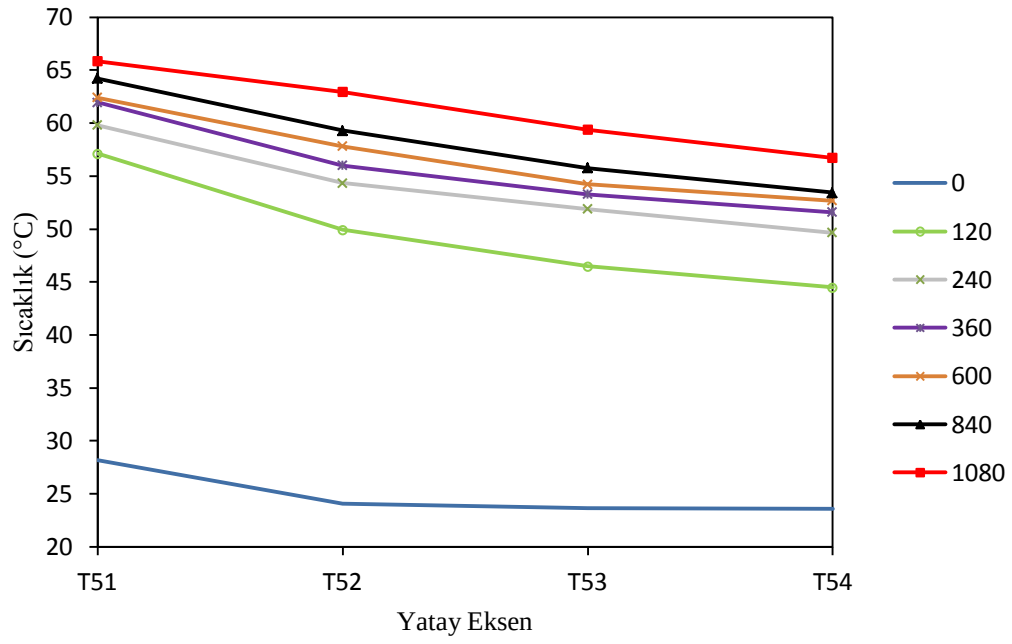
a)



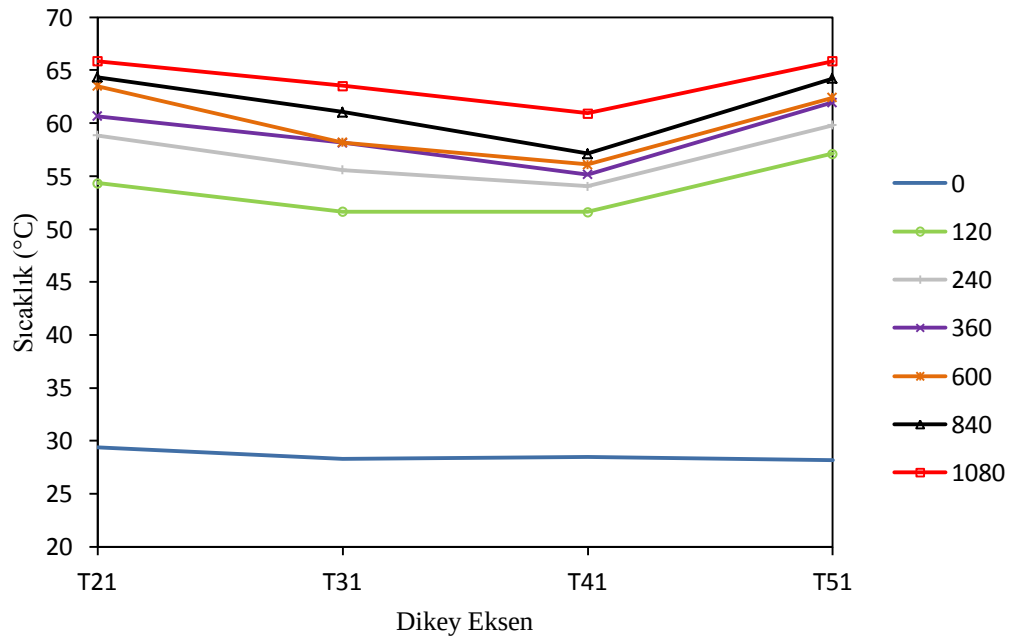
b)



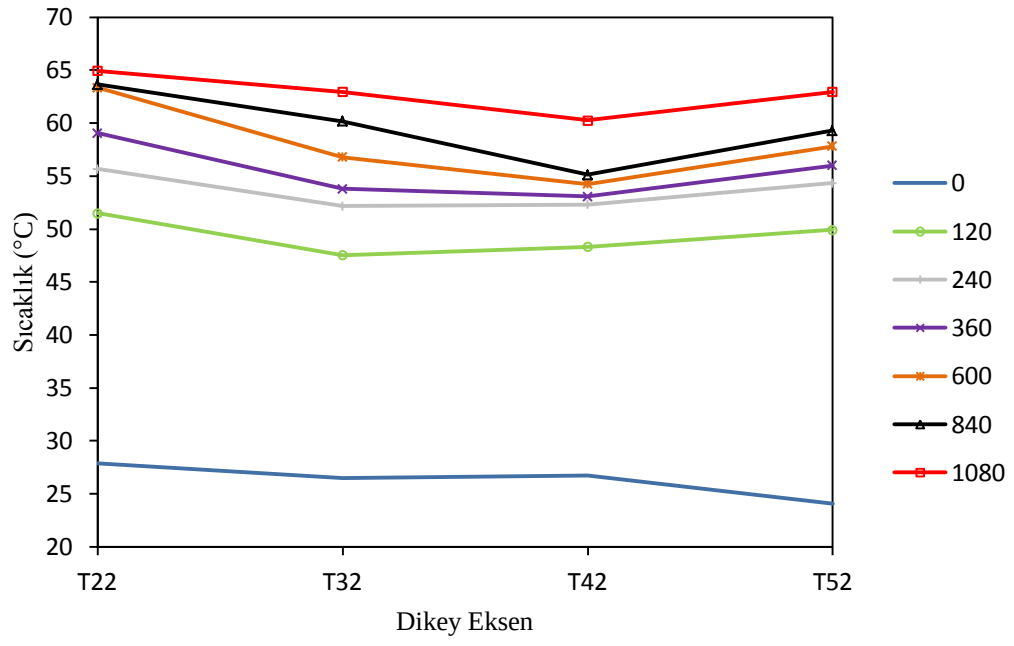
c)



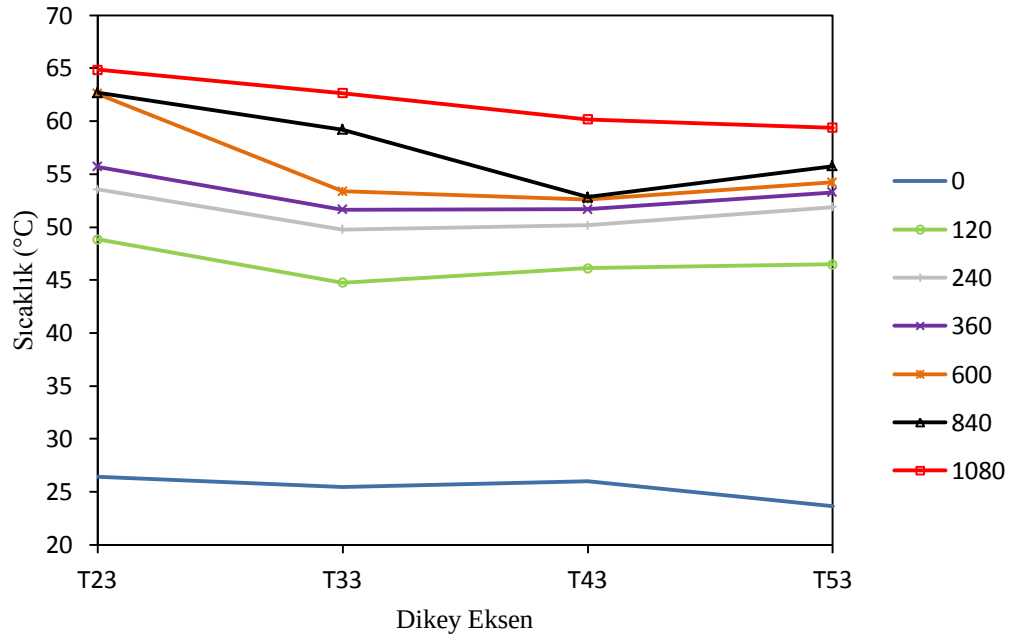
d) **Şekil 3.7.** Ötektik FDM'nin erime esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi,



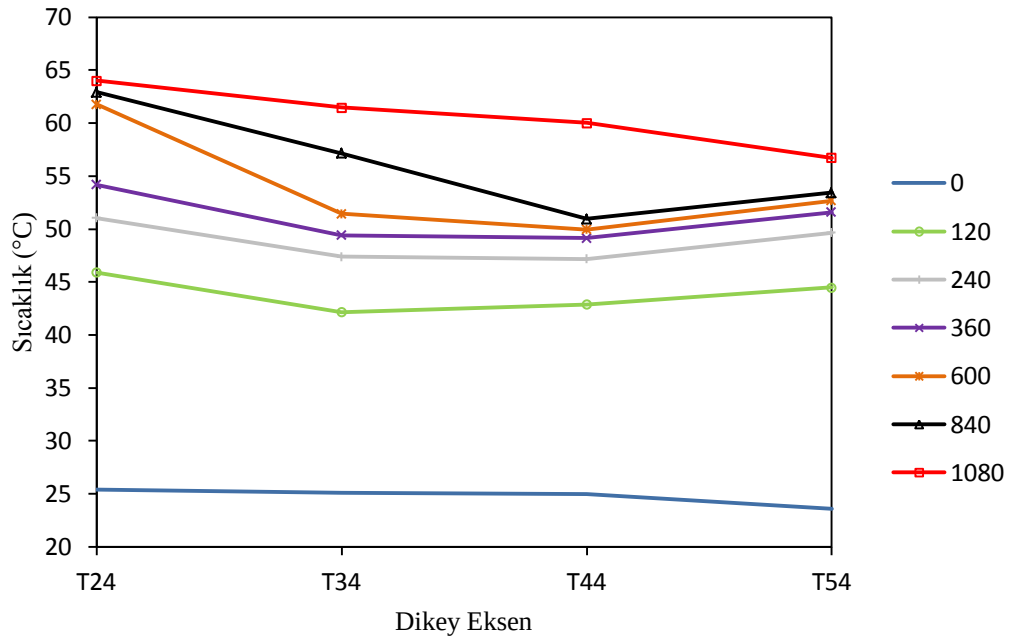
a)



b)

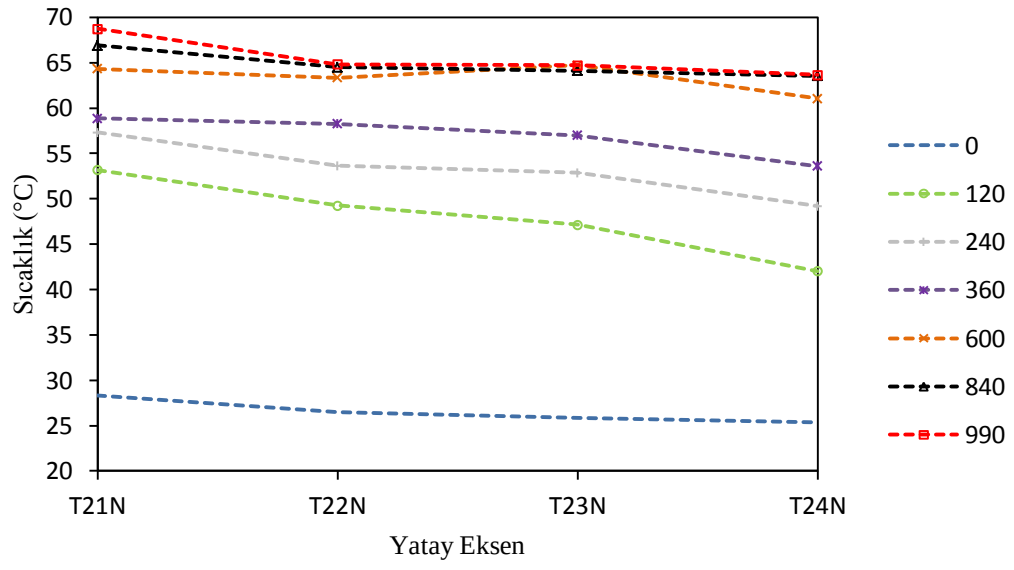


c)

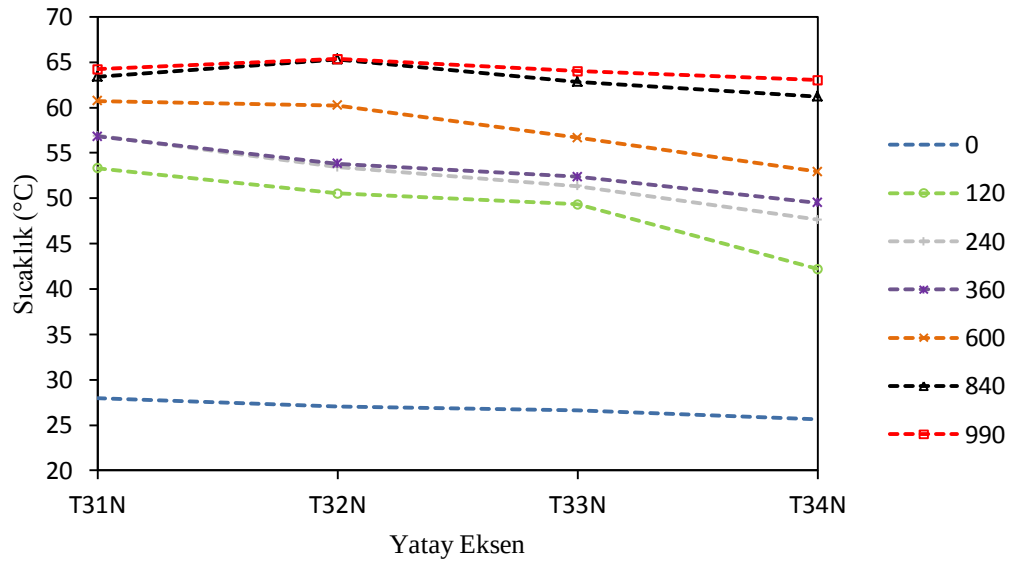


d)
Şekil 3.8. Ötektik FDM'nin erime esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi,

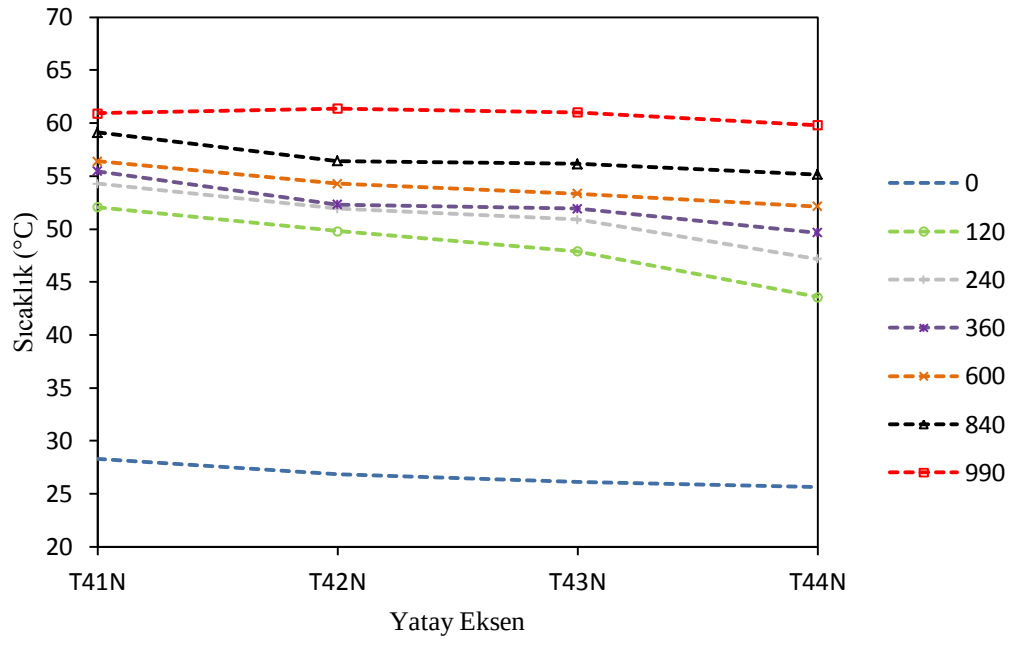
Erime işlemi sırasında, zamana bağlı olarak yatay ve dikey noktaların, NPKFDM'nin sıcaklık değişimi, Şekil 3.9 ve 3.10'da verilmiştir. Çalışmalarda, katı fazda bulunan NPKFDM'ye ısı transfer akışkanı $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, kütleli debiyi 3 kg/dk ile sonuçlar alınmış ve sıvı katı faz değişimi gerçekleşene kadar devam edilmiştir. Hem dikey hem de yatay doğrultuda da NPKFDM karışımının sıvı katı faz değişimi ısı değiştirici borudan başlayıp deponun cıdarlarına doğru bir erime gerçekleşmiştir. Yatay eksenden alınan veriler aynı zamanlarda erime işlemi yaklaşık olarak aynı zamanlarda faz değişimi gözlenmiştir. Dikey noktalarda ise ısı değiştiriciye yakın noktalarda erime başlayıp orta noktalarda bulunan karışımlara nazaran daha önce faz değişimi gerçekleşmiştir. Erime süresi tamamen katı sıvı faz değişimine ulaşması 990 dk 'da oluşmuştur.



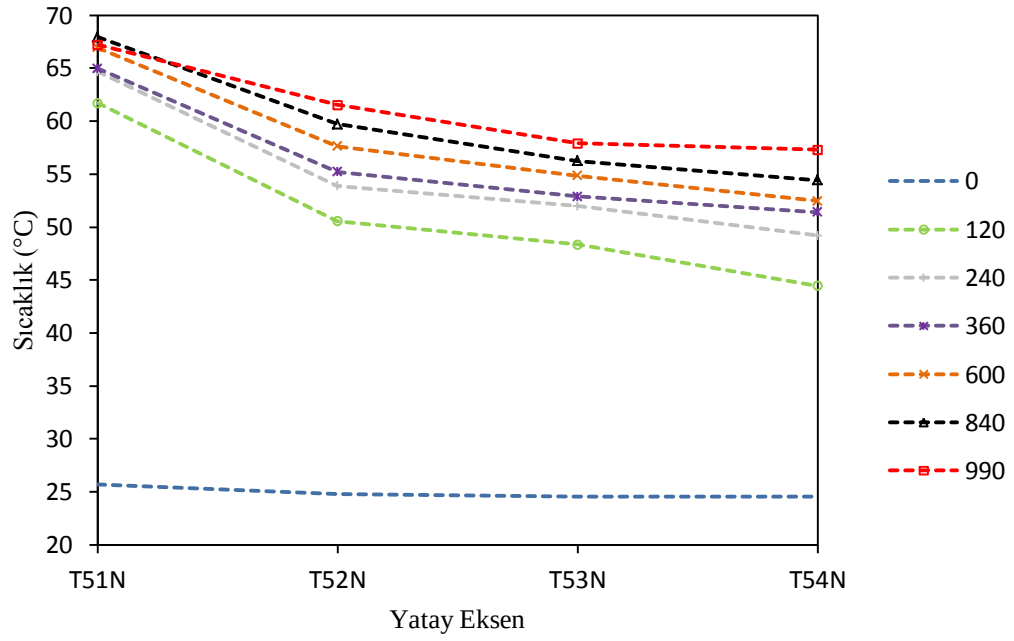
a)



b)

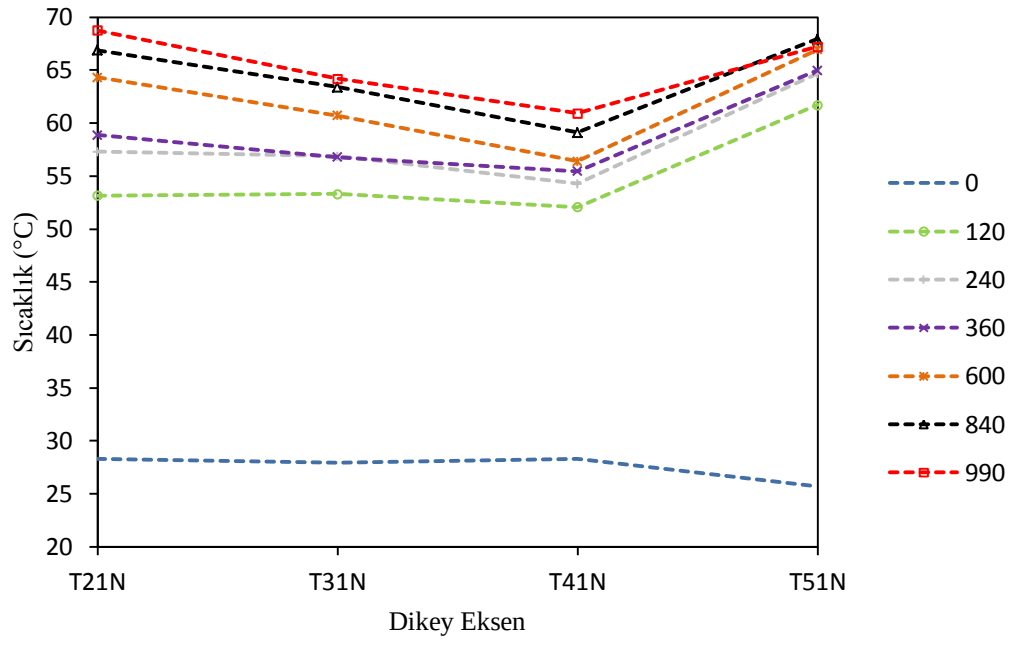


c)

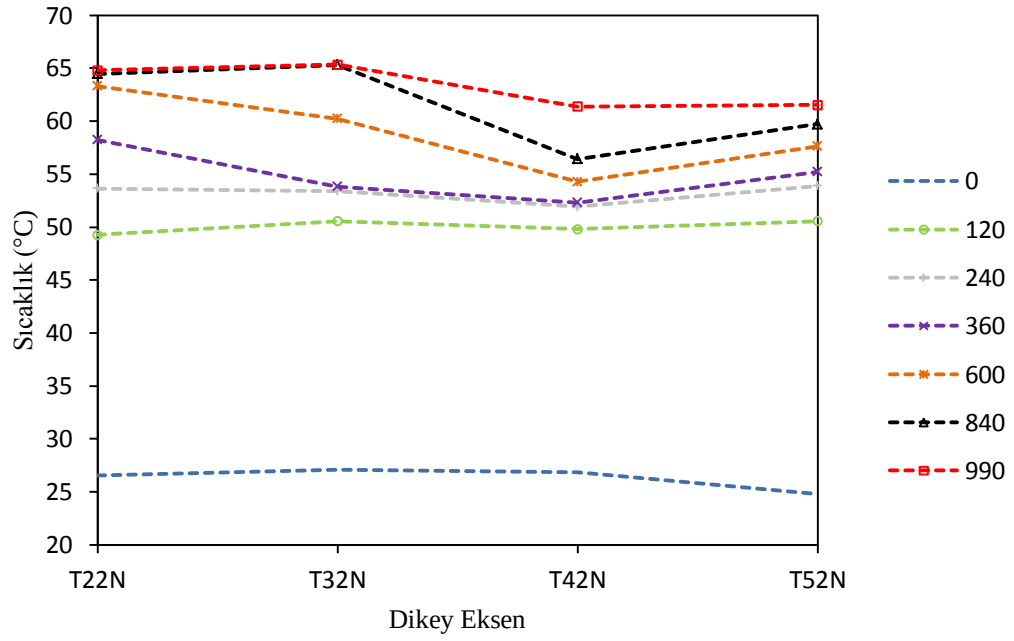


d)

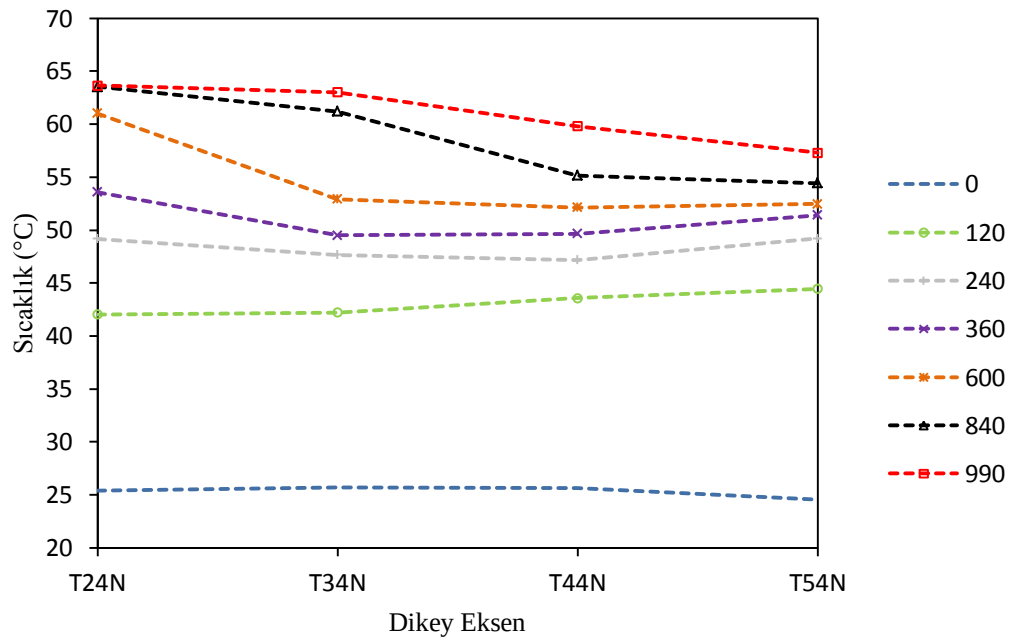
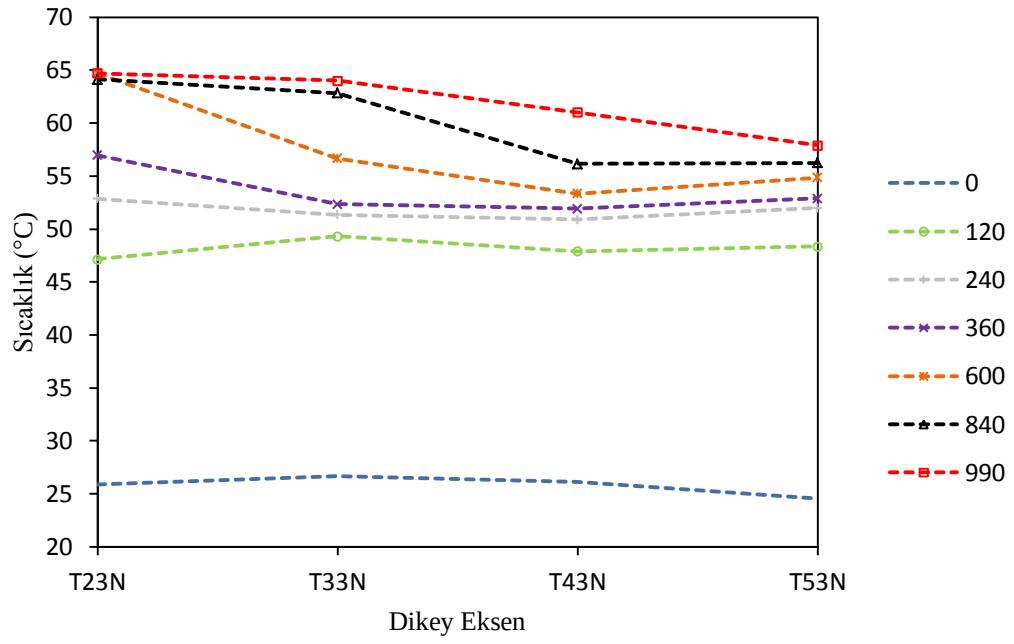
Şekil 3.9. NPKFDM'nin erime esnasında yatay noktalarındaki ısı çift mesafelerine göre zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi,



a)



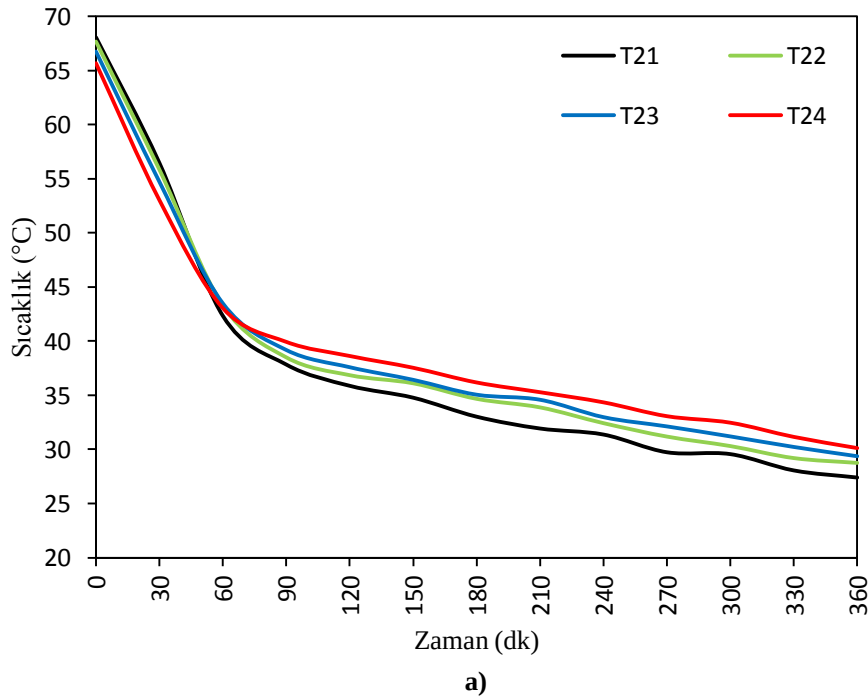
b)

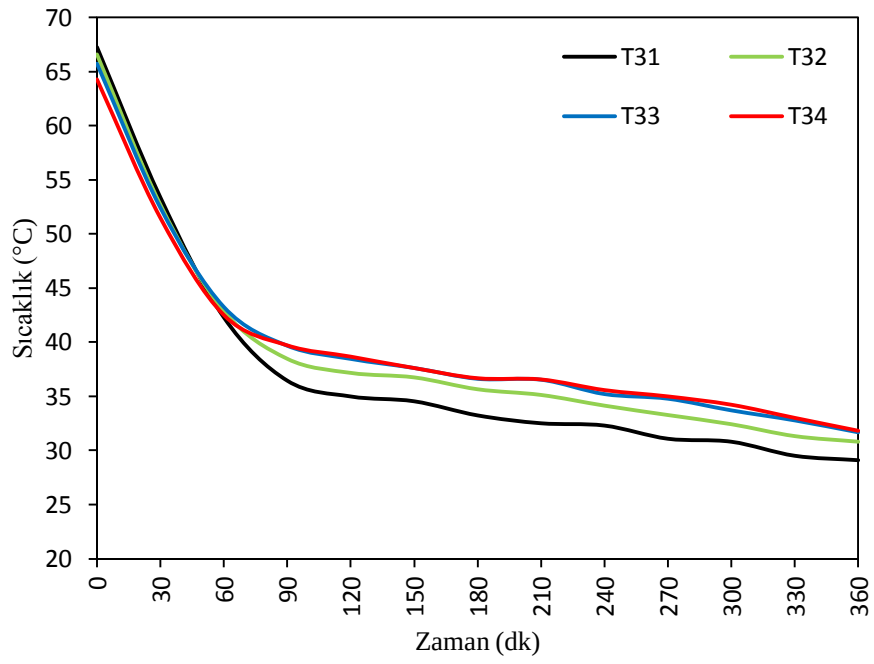


Şekil 3.10. NPKFDM'nin erime esnasında dikey noktalardaki ısı çift mesafelerin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi,

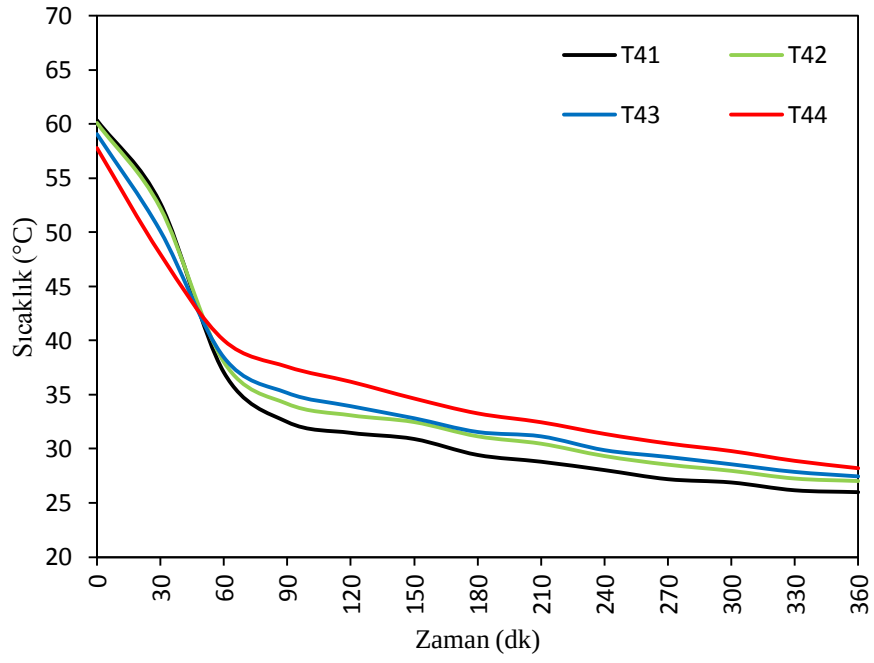
NPKFDM ve ötektik FDM karışımların erime süreçlerinden sonra, katılaşma süreçleri ara verilmeden yapılmıştır. Katılaşma süreçleri 25 °C ve 20 °C sıcaklıklarda ve 2, 3 ve 4 kg/dk kütleli debilerde ölçümler yapılmıştır. Bulgular kısmında sadece 20 °C sıcaklık ve 2 kg/dk kütleli debiye ait grafikler verilmiştir. Diğer sıcaklık ve debilerde yapılan çalışmalarda Ek – C kısmında verilmiştir. Ek kısmında verilen çalışmalar bulgulardan farklı olarak sadece zamana bağlı olarak katılaşma süresinde artış veya azalış olduğu gözlemlenmiştir.

Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay ve dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi Şekil 3.11 ve 3.12'de gösterilmiştir. Katılaşma işlemi erime zamanına nazaran daha hızlı bir şekilde katılaşmıştır. Yatay noktalardaki ötektik FDM'lerin katılaşması, depo cidarına yakın olan noktalar en son oda sıcaklığına ulaşmıştır. Dikey noktalardan alınan ısı çiftlerinin sıcaklık değerleri erime sürecinde olduğu gibi ısı değiştirici cidarına yakın ve üst kısımlardan katılaşma başlayıp orta noktalara göre daha önce katılaşmıştır. Katılaşma süresi 360 dk'da gerçekleşmiştir.

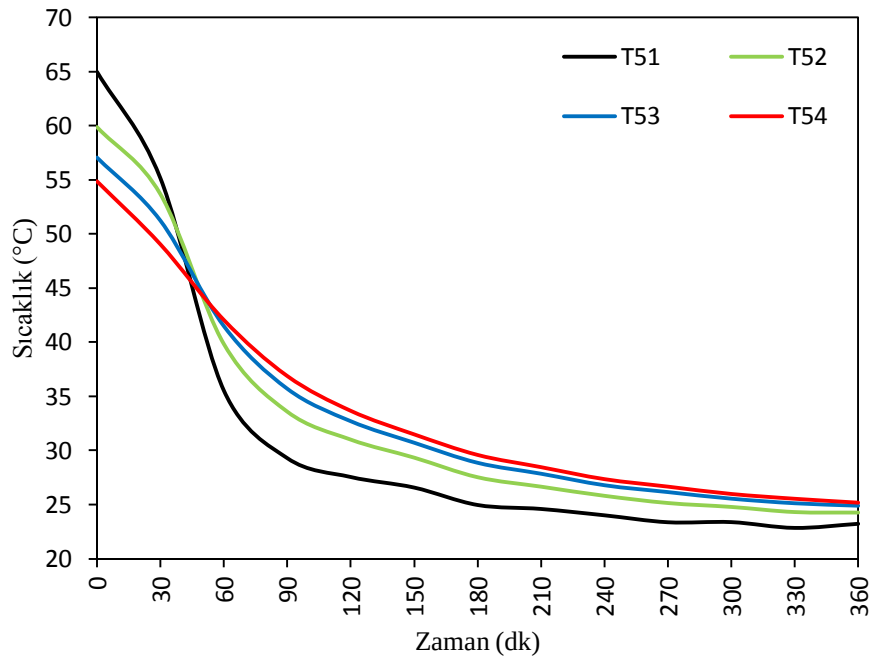




b)

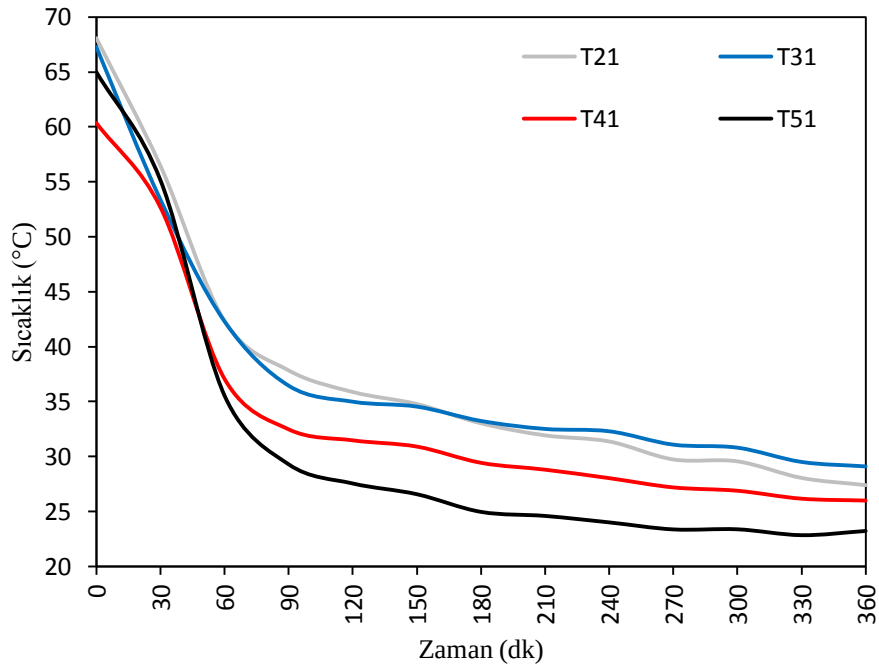


c)

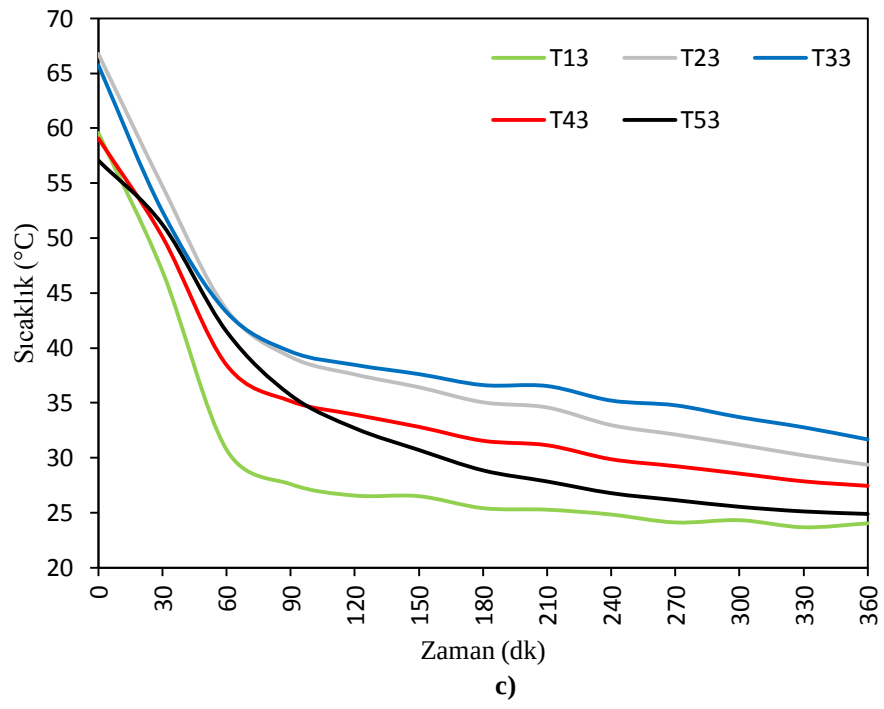
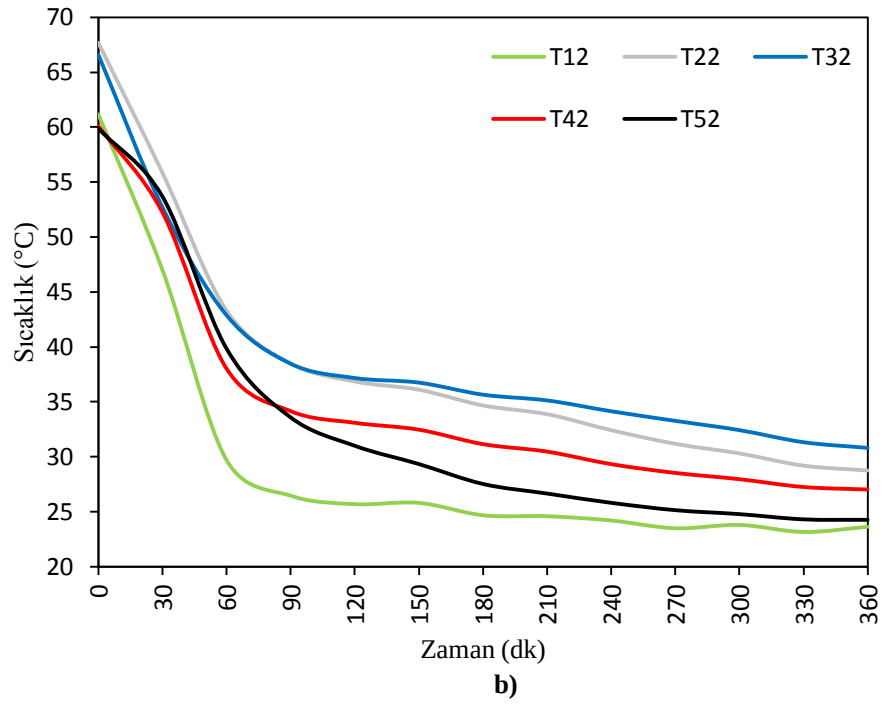


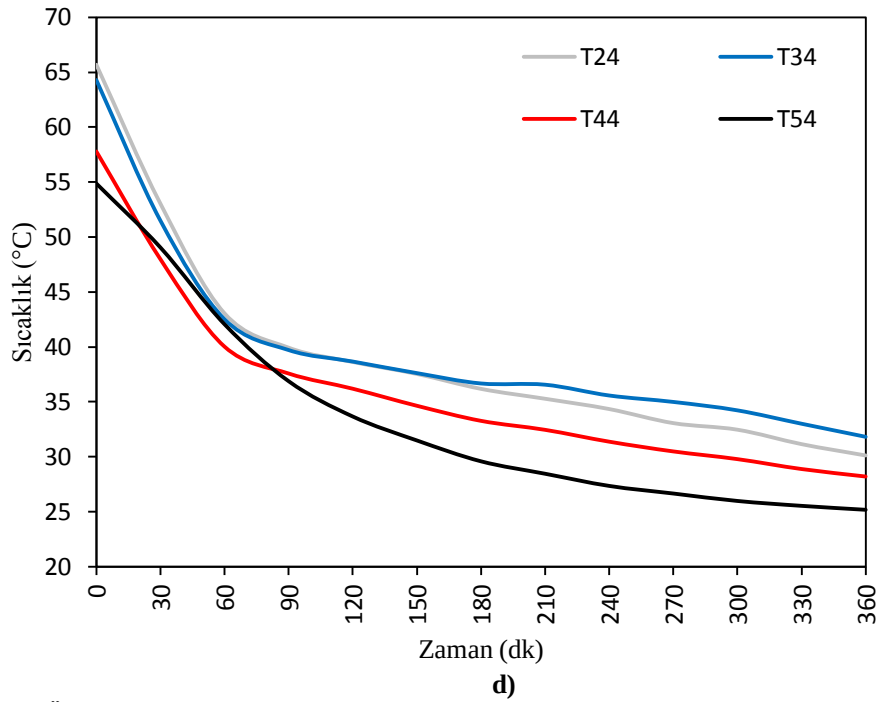
d)

Şekil 3.11. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 2 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



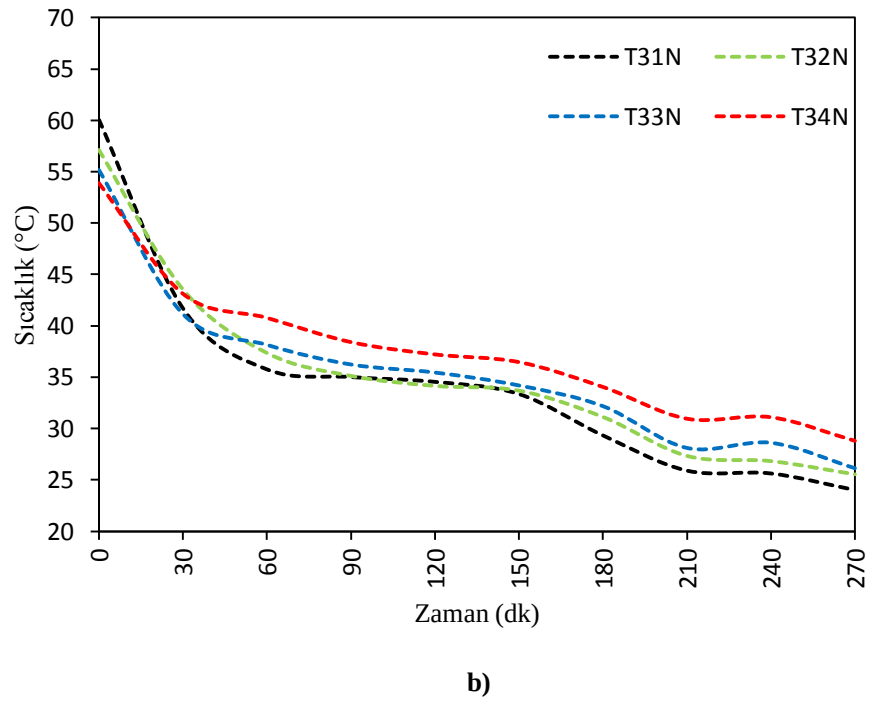
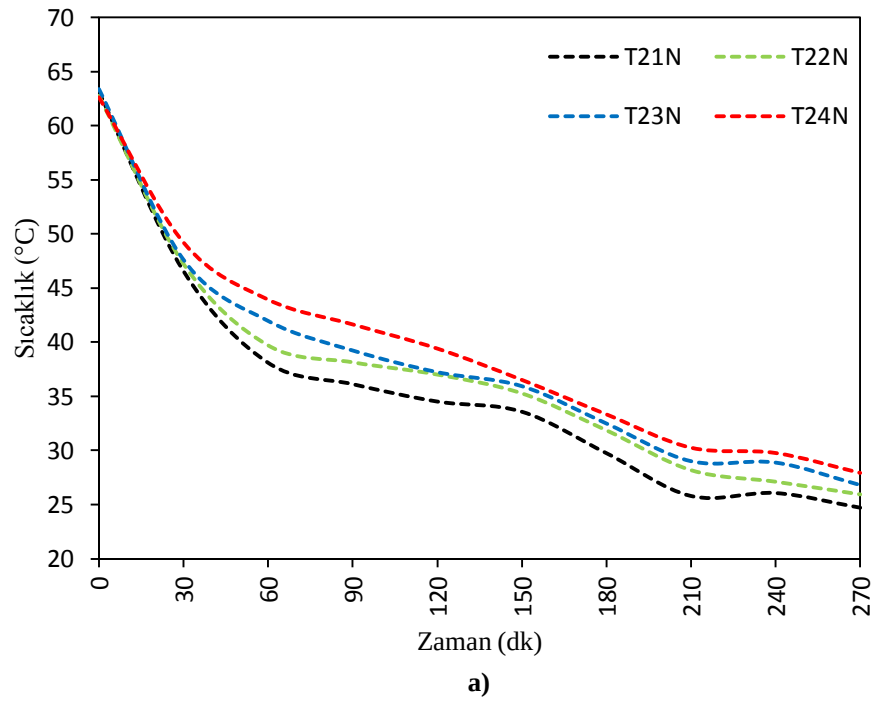
a)

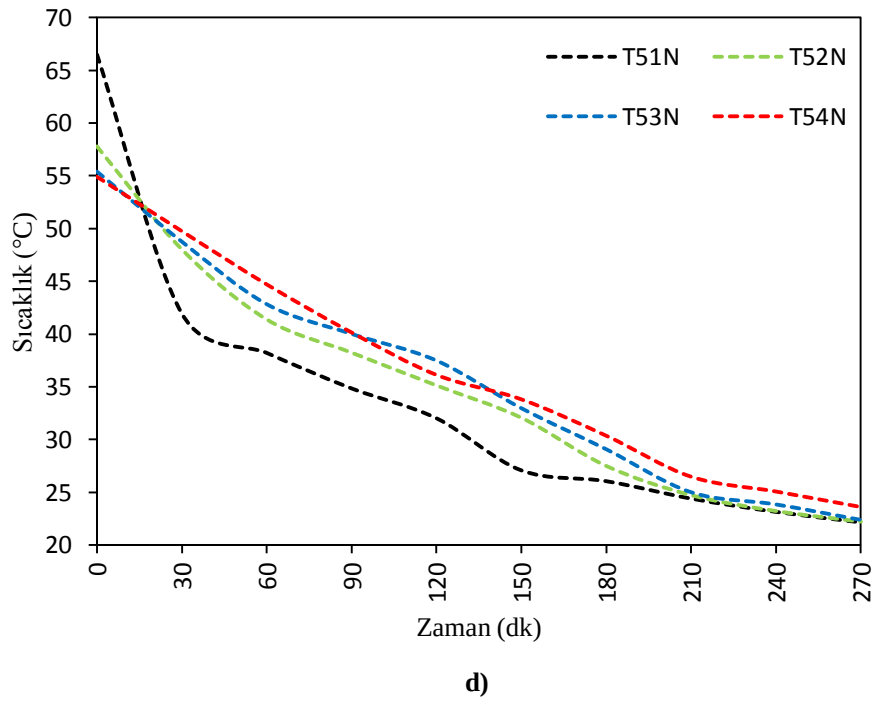
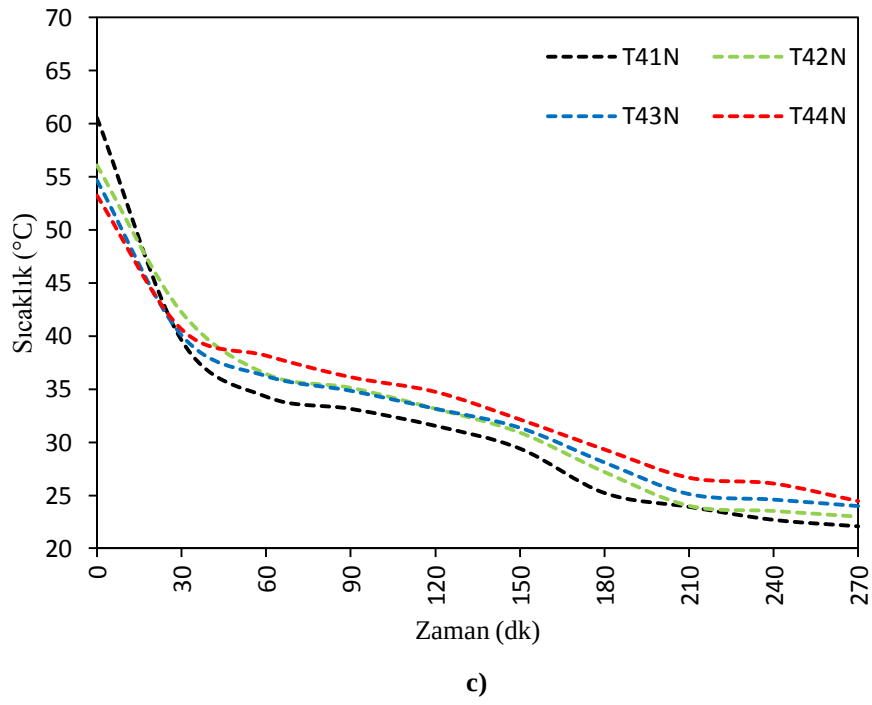




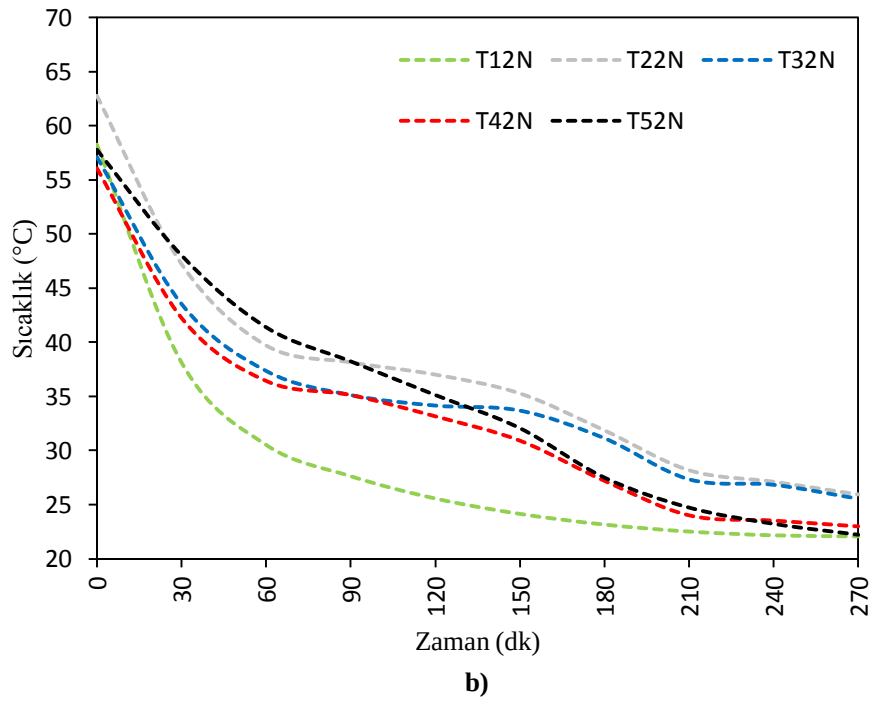
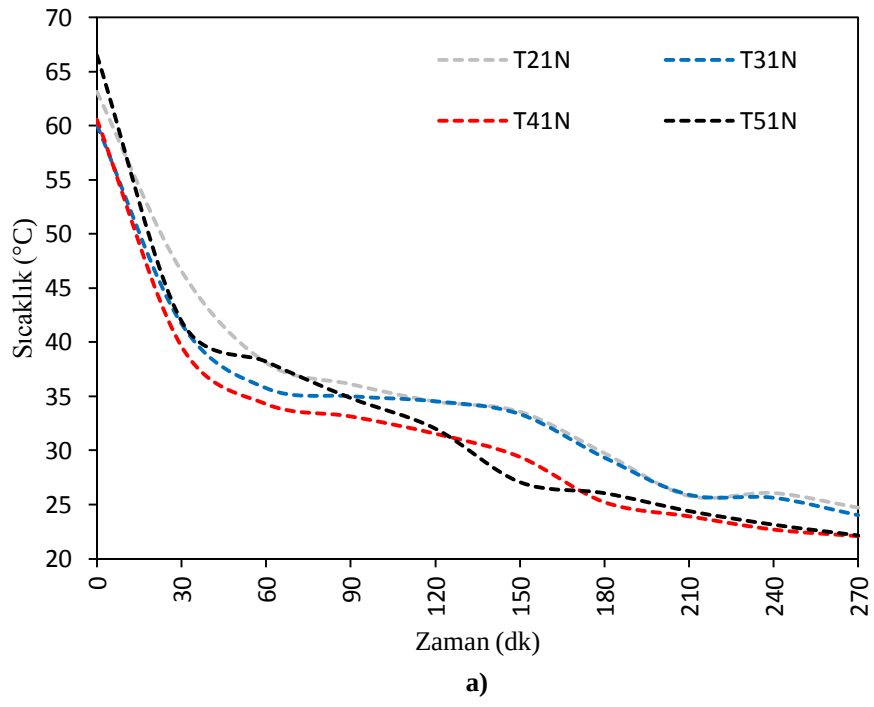
Şekil 3.12. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ °C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

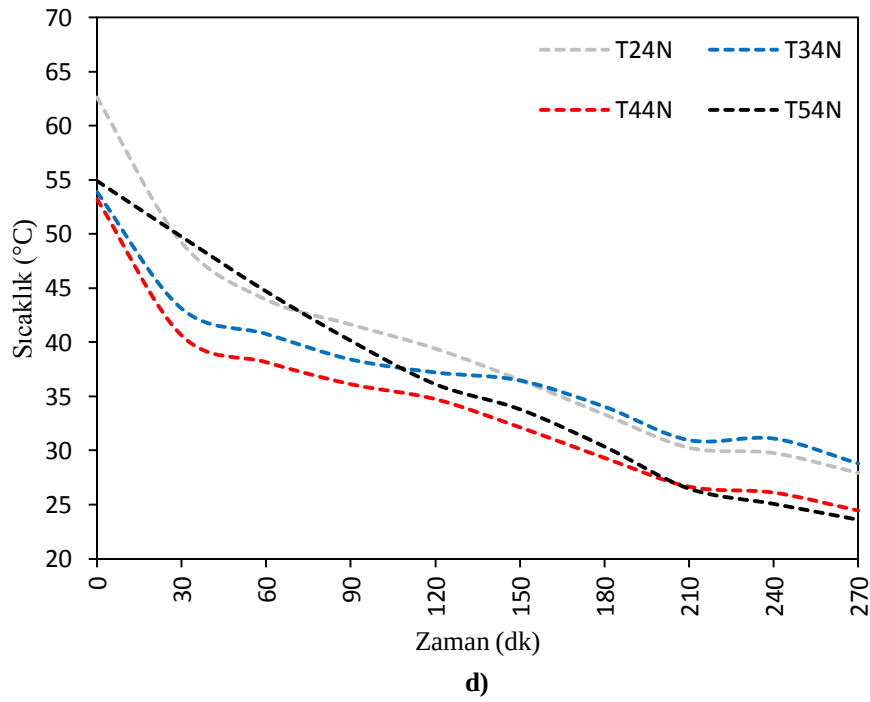
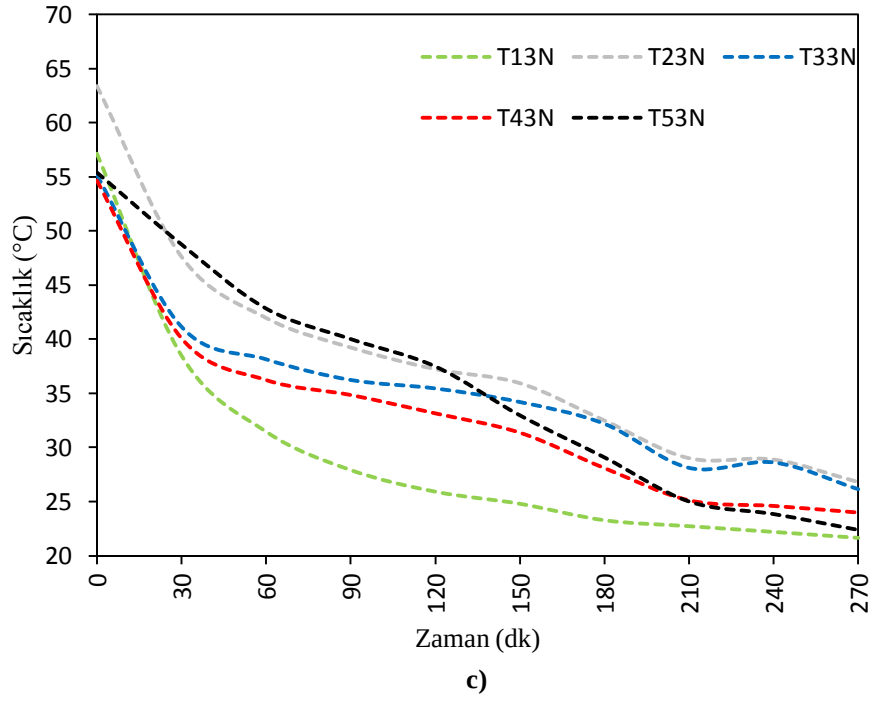
NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay ve dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi, Şekil 3.13 ve 3.14'de gösterilmiştir. Katılaşma işlemi 20 °C sıcaklıkta ve kütesel debi ise 2 kg/dk şartlarında ölçümler alınmıştır. Yatay noktalardaki NPKFDM'lerin katılaşması, depo cidarına yakın olan noktalar en son oda sıcaklığına ulaşmıştır. Dikey noktalardan alınan ısı çiftlerinin sıcaklık değerleri erime sürecinde olduğu gibi ısı değiştirici cidarına yakın ve üst kısımlardan katılaşma başlayıp orta noktalara göre daha önce katılaşmıştır. Deponun alt ve üst kısımlarından ısı kayıplarından dolayı sıcaklık hızla düşerken orta bölgelerde sıcaklık düşüşü daha azdır. Bunun nedeni ise ilk başta ısı transfer akışkanı ile ısı değiştirici arasında iletim ile ısı transferi gerçekleşmiştir. Isı değiştiricinin cidarından depo içerisindeki NPKFDM'ye hızlı bir ısı transferi gerçekleşir. Cidar yakınlarındaki NPKFDM katılaştıktan sonra doğal bir taşınım ile orta noktalarda bulunan NPKFDM arasında bir ısı transferi gerçekleşerek tüm noktalarda ısı transfer akışkanına yakın sıcaklıklarda katılaşma gerçekleşir. Bu katılaşma süresi 270 dk 'da gerçekleşmiştir.





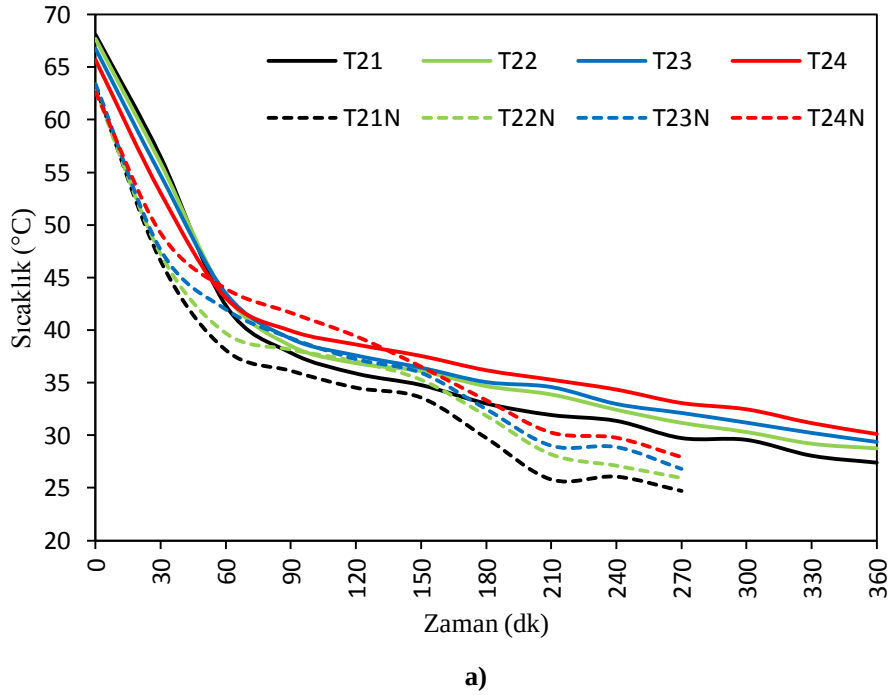
Şekil 3.13. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

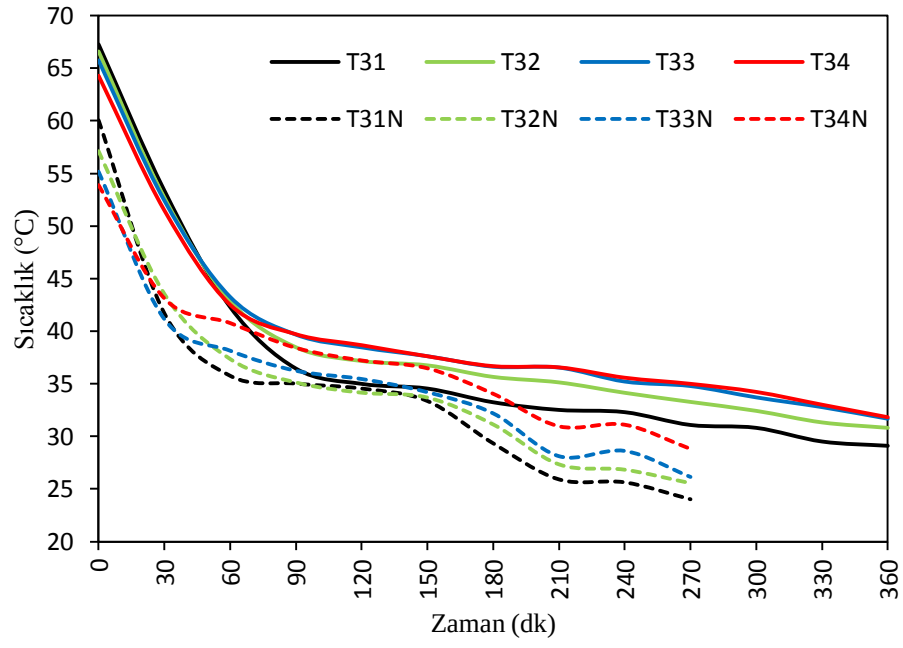




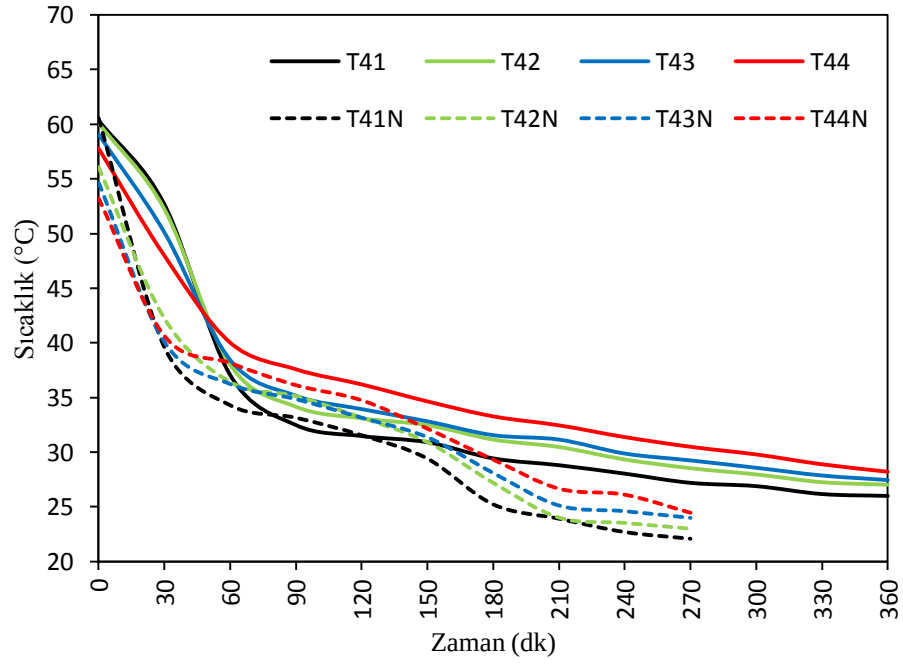
Şekil 3.14. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

Ötektik FDM ve NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey ve yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin karşılaştırılmasını, Şekil 3.15 ve 3.16'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, NPKFDM'nin katılaşma süresi, ötektik FDM'ye nazaran daha erken bir sürede katılaştığı görülmektedir. Bu durum, NPKFDM'nin ısıyı depolamada ve sisteme geri vermede daha iyi olduğunu göstermektedir. Grafikler incelendiğinde akışkan sıvının deponun alt kısmından girmesinden dolayı, ilk katılaşma hem NPKFDM karışım için hem de ötektik FDM karışım için T51 noktasında gerçekleşmektedir. Zaman ilerledikçe ve akışkan sıvının sıcaklığı sabit olmasına rağmen katılaşma, ısı değiştiricinin cidarlarından başlayıp deponun dış cidarlarına doğru katılaşma gözlenmektedir. En son katılaşma, yatay ve dikey olarak yerleştirilmiş olan 3. ve 4. noktalardaki ısı çiftlerinde gerçekleşmektedir. NPKFDM'nin katılaşma süresi 270 dk gerçekleşirken, ötektik FDM'nin 360 dk'da gerçekleşmiştir. Bu durum, termal iletkenliği, NPKFDM'den kötü olan ötektik FDM'de katılaşma süresinde bir artış olduğunu göstermektedir.

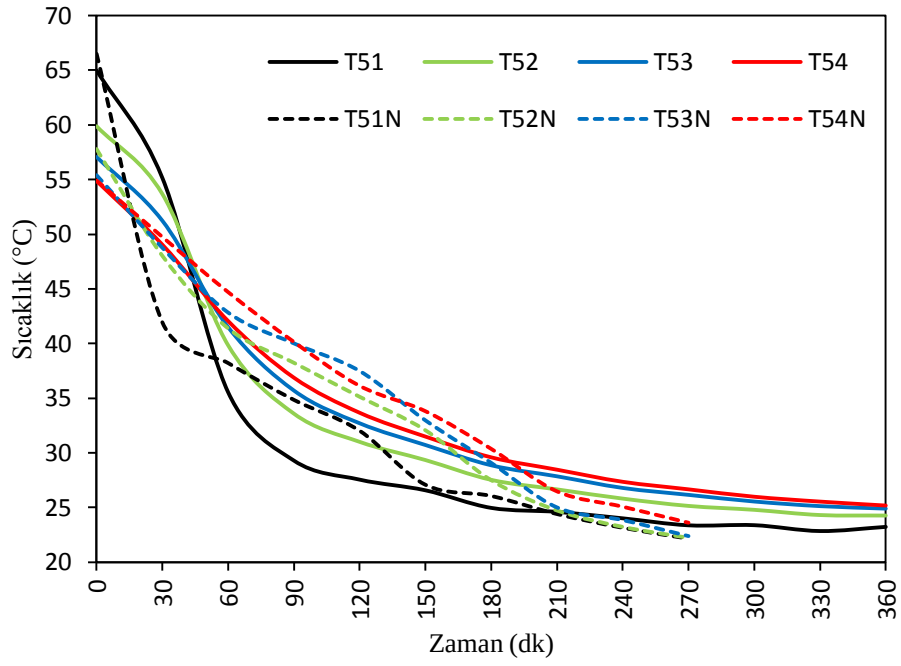




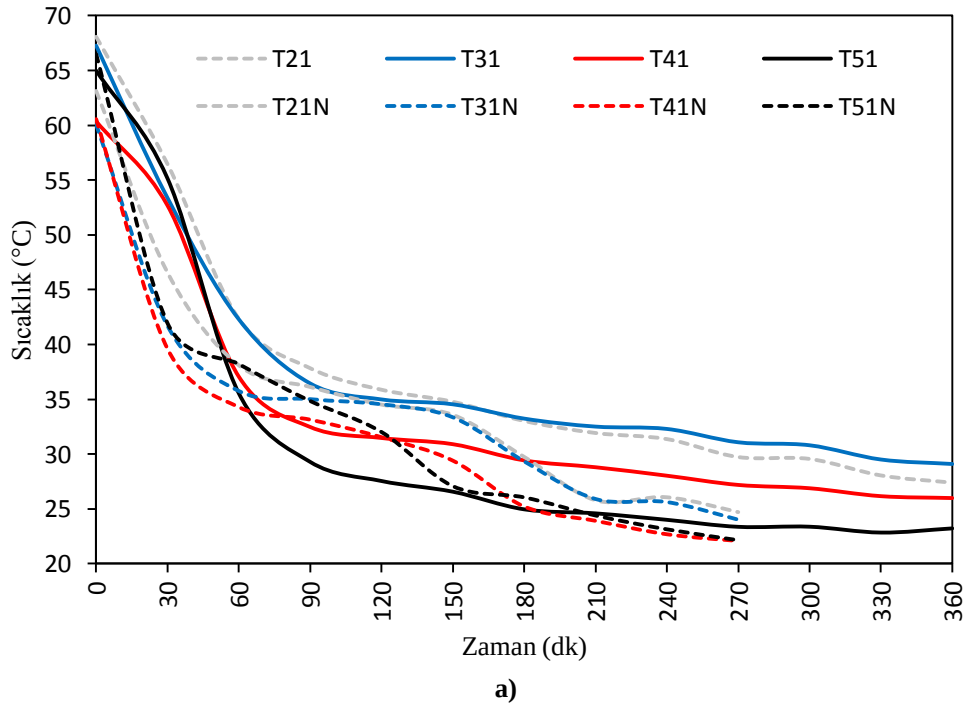
b)

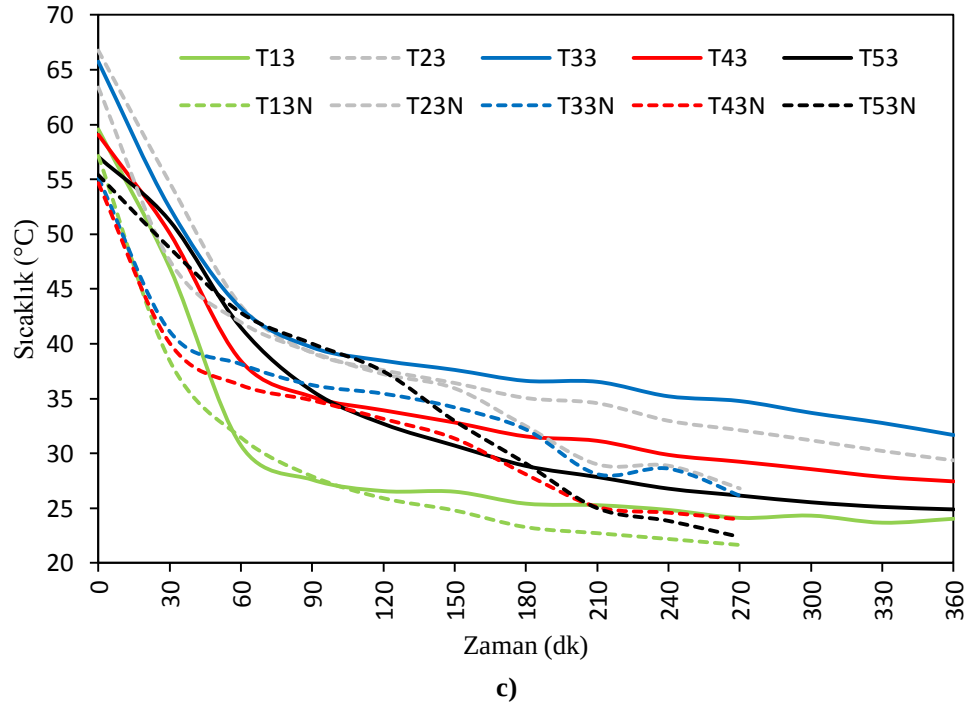
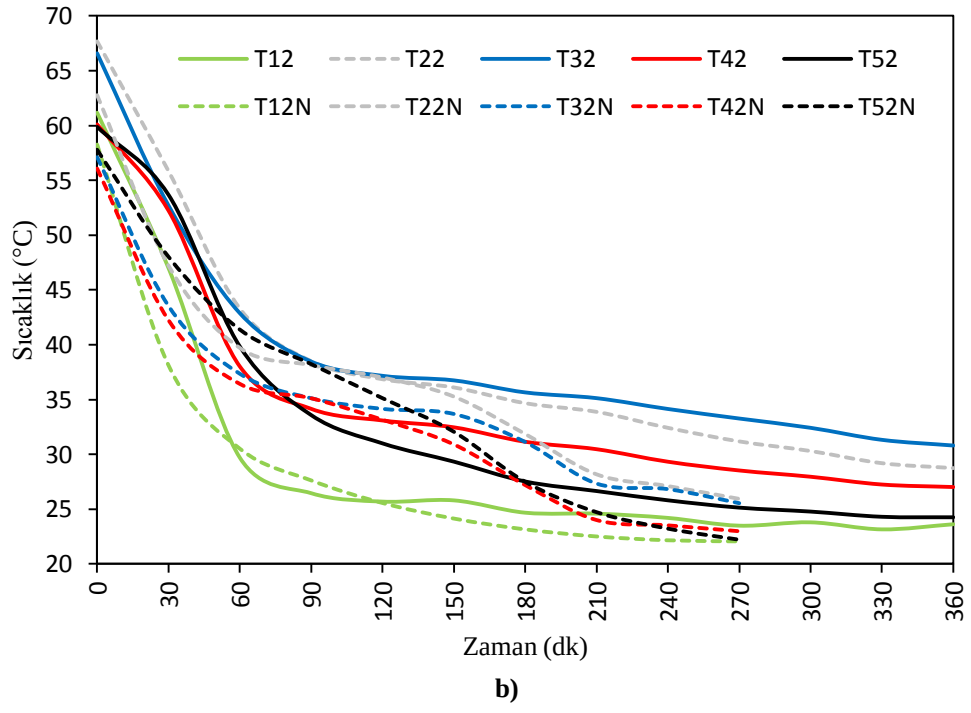


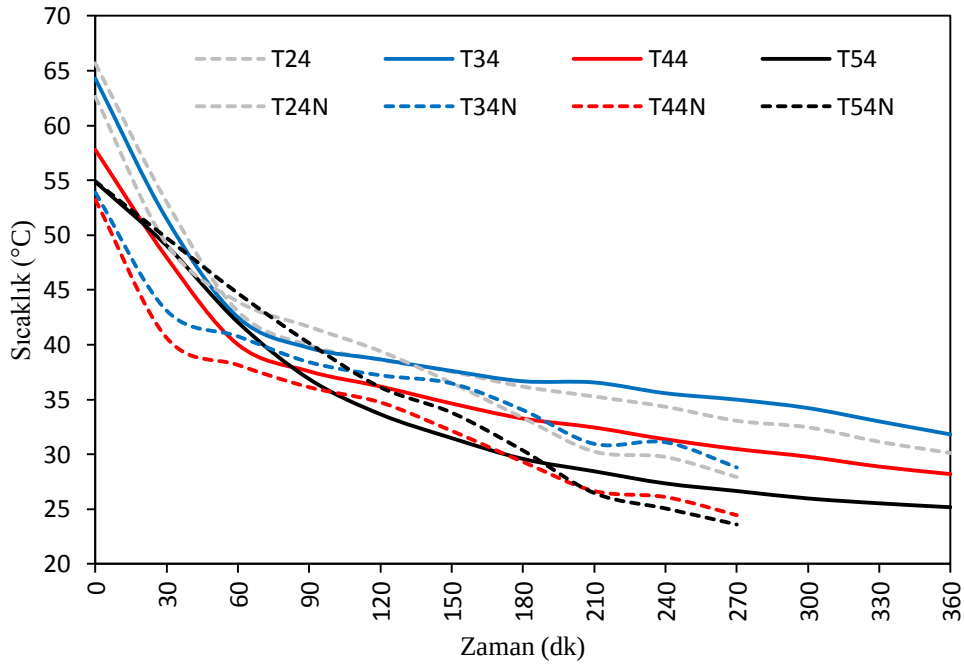
c)



Şekil 3.15. Ötektik FDM ve NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 2 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

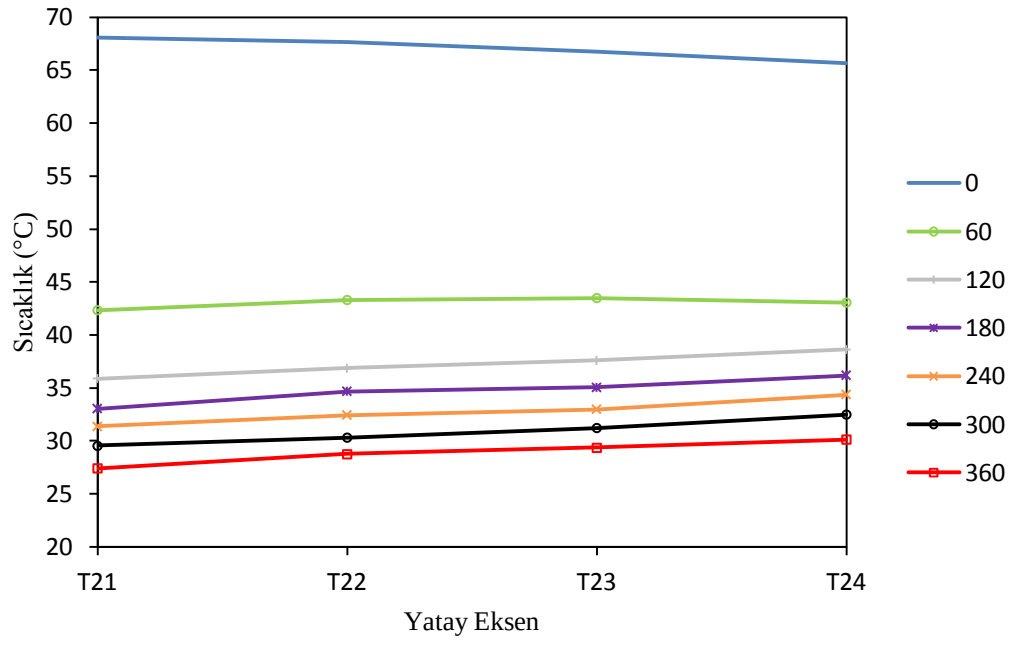




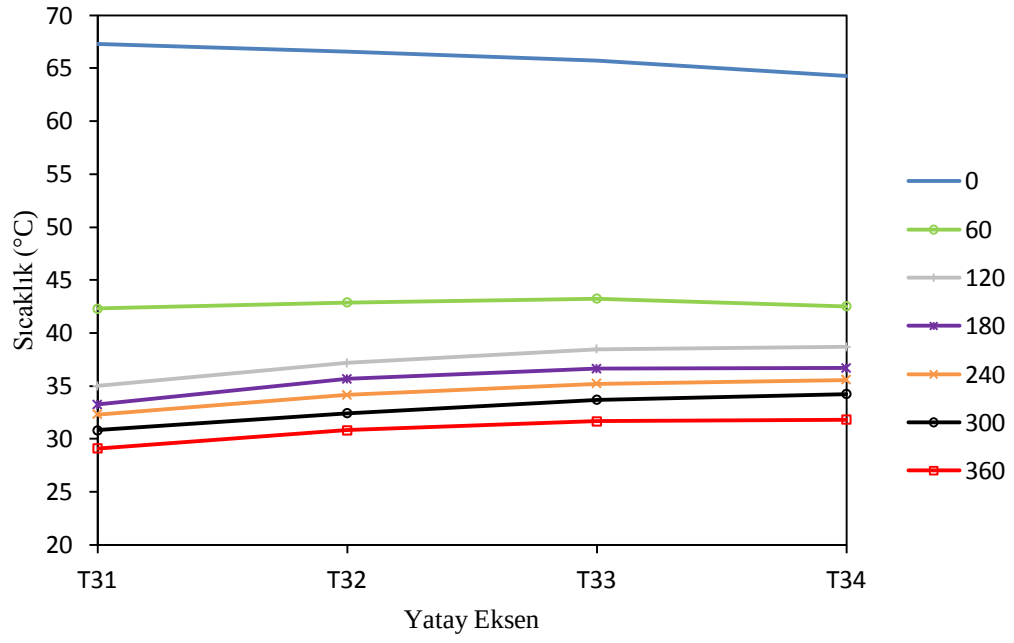


d)
Şekil 3.16. Ötektik FDM ve NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

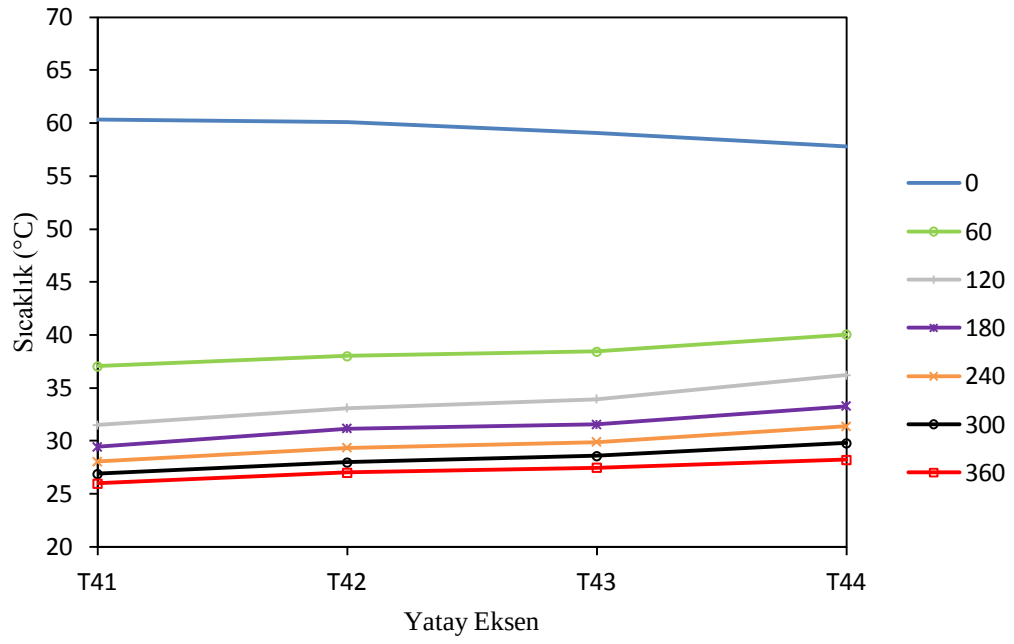
Katılaşma işlemi sırasında, zamana bağlı olarak yatay ve dikey noktaların ötektik FDM'nin sıcaklık değişimi, Şekil 3.17 ve 3.18'de verilmiştir. Çalışmalarda, sıvı fazda bulunan ötektik FDM'ye ısı transfer akışkanı $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, kütleli debi 2 kg/dk ile sonuçlar alınmış ve oda sıcaklığına gelene kadar devam edilmiştir. Hem dikey hem de yatay doğrultuda da ötektik FDM karışımının sıvı katı faz değişimi çok hızlı tamamlamaktadır. Yatay eksenden alınan veriler, aynı zamanlarda katılaşma işlemi yaklaşık olarak aynı değerlerde faz değişimi sergilemiştir. Dikey noktalarda ise akışkanın giriş sıcaklığı ve merkezde bulunan noktalarda zamana bağlı olarak katılaşmanın orta noktalarda bulunan karışımlara nazaran daha sonra katılaşma gerçekleşmiştir. Katılaşma süresinde tamamen oda sıcaklığına ulaşılması 360 dk 'lık bir süreç içerisinde gerçekleşmiştir.



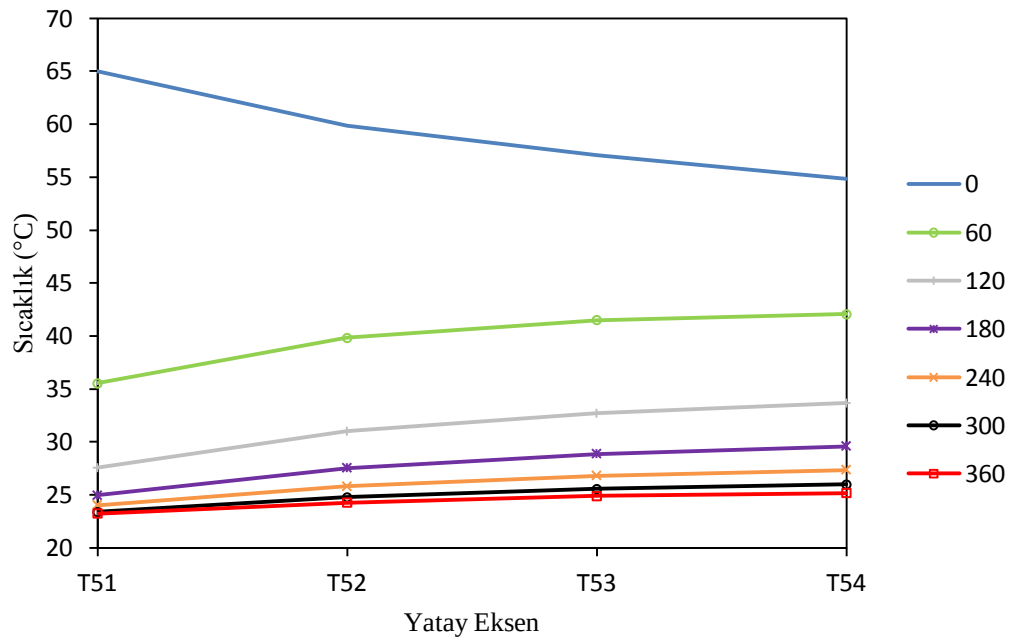
a)



b)

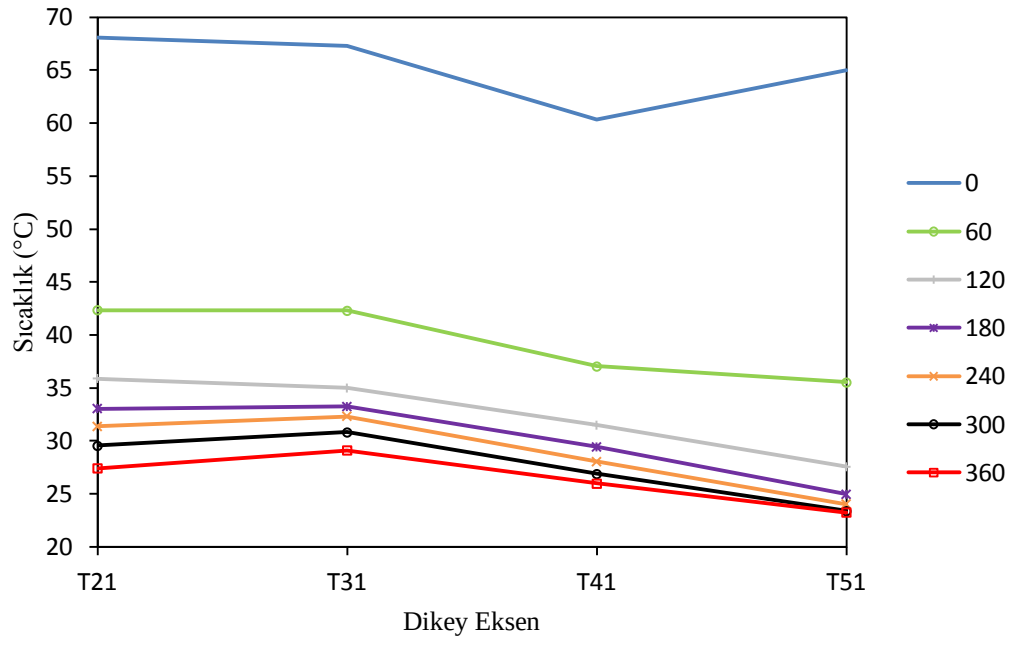


c)

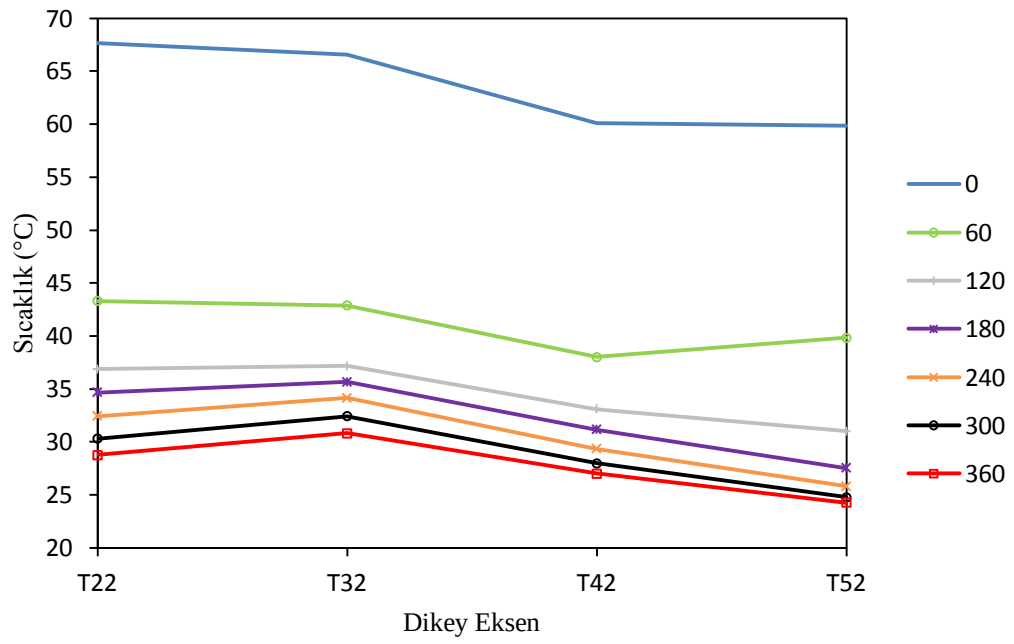


d)

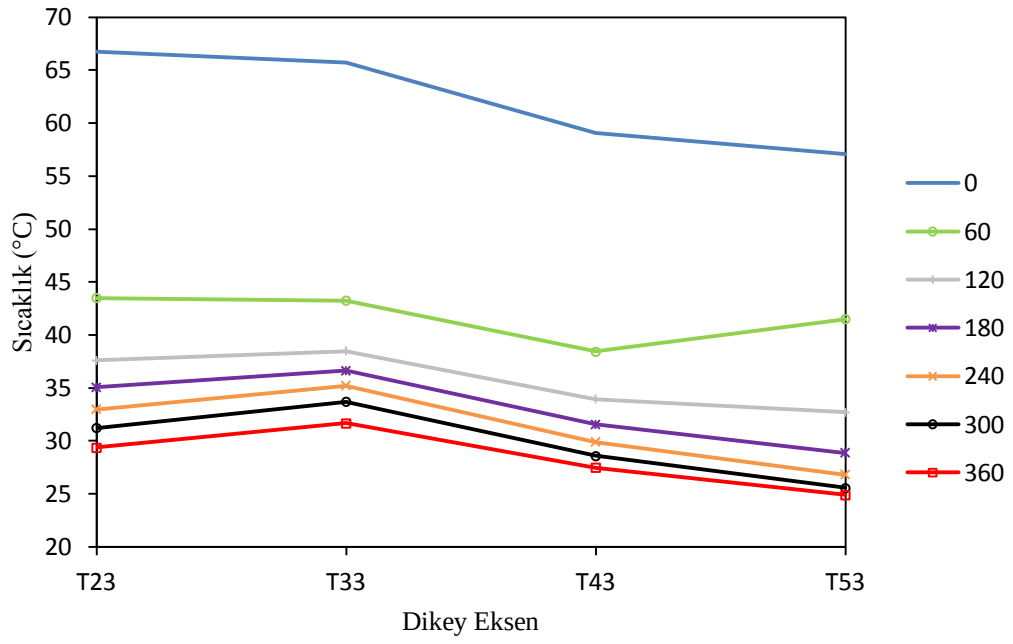
Şekil 3.17. Ötektik FDM'nin katılaşma esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $m = 2\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftlerin sıcaklık değişimi,



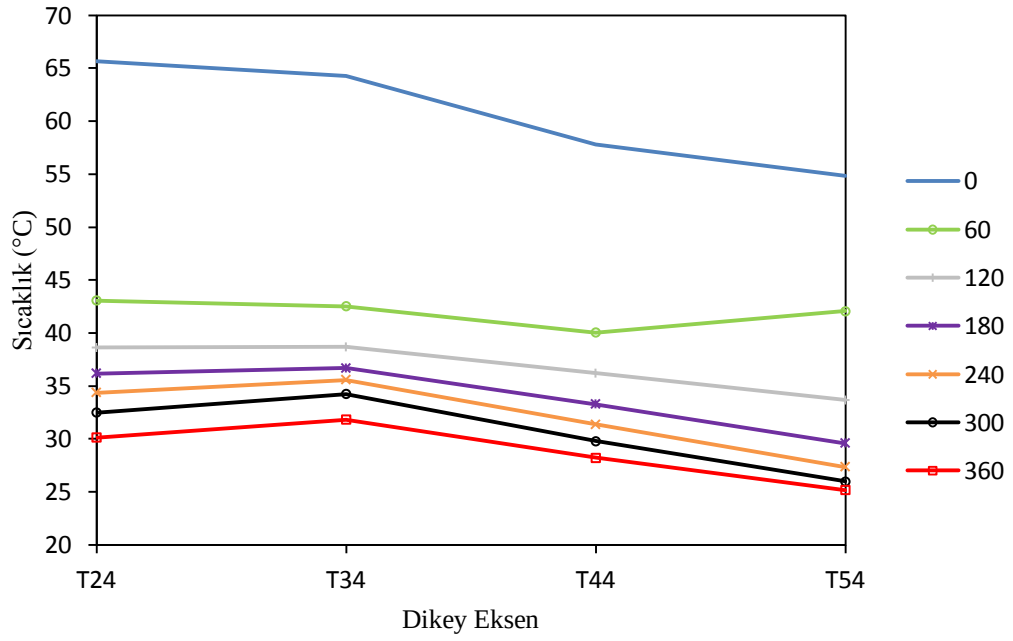
a)



b)



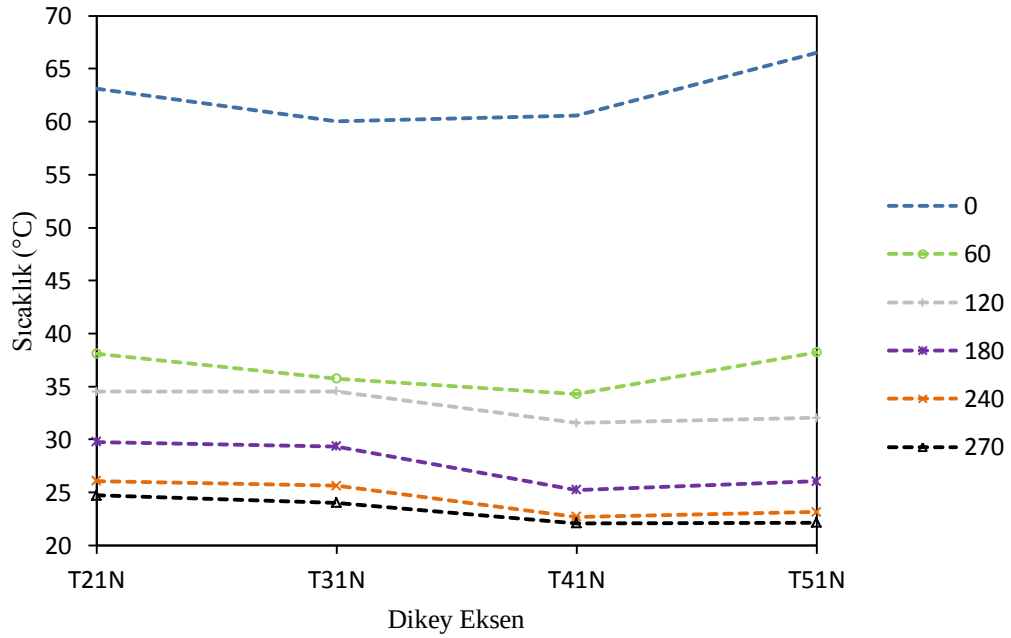
c)



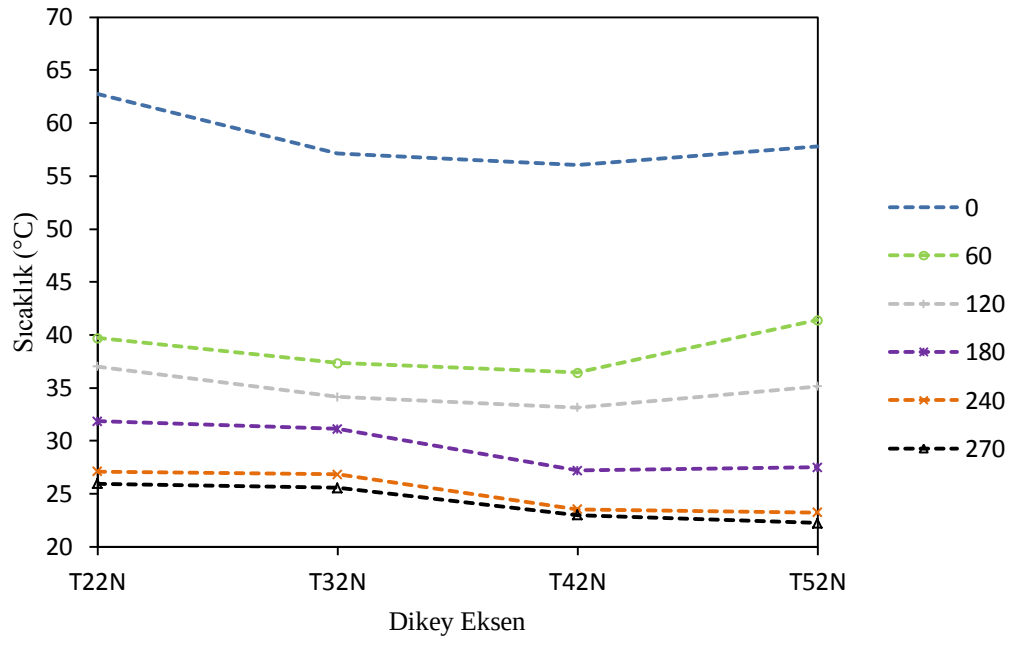
d)

Şekil 3.18. Ötektik FDM'nin katılaşma esnasında dikey noktalardaki ısı çift mesafelerin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi,

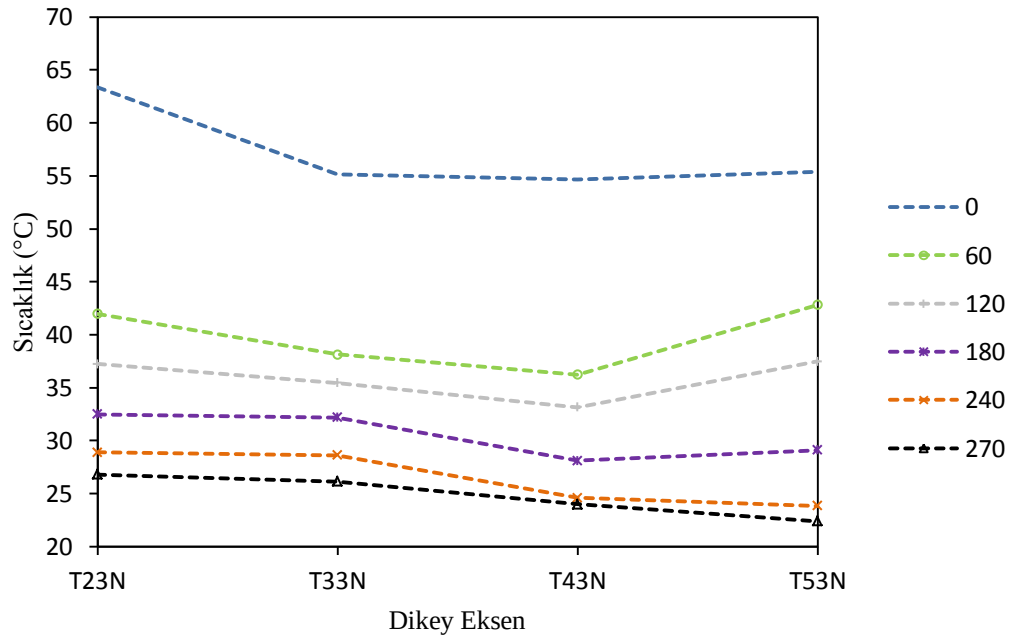
Katılaşma işlemi sırasında, zamana bağlı olarak yatay ve dikey noktaların NPKFDM'nin sıcaklık değişimi, Şekil 3.19 ve 3.20'de verilmiştir. Çalışmalarda, sıvı fazda bulunan NPKFDM'ye ısı transfer akışkanı 20 °C sıcaklıkta, kütleli debiyi 2 kg/dk ile sonuçlar alınmış ve oda sıcaklığına gelene kadar devam edilmiştir. Hem dikey hem de yatay doğrultu da NPKFDM karışımının sıvı katı faz değişimi ötektik FDM'ye göre daha hızlı tamamlamaktadır. Yatay eksenden alınan veriler aynı zamanlarda katılaşma işlemi yaklaşık olarak aynı değerlerde faz değişimi sergilemiştir. Dikey noktalarda ise akışkanın giriş sıcaklığı ve merkezde bulunan noktalarda zamana bağlı olarak katılaşmanın orta noktalarda bulunan karışımlara nazaran daha önce katılaşma gerçekleşmiştir. Katılaşma sürecinde, NPKFDM'nin oda sıcaklığına ulaşması 270 dk'lık bir süreçte gerçekleşmiştir.



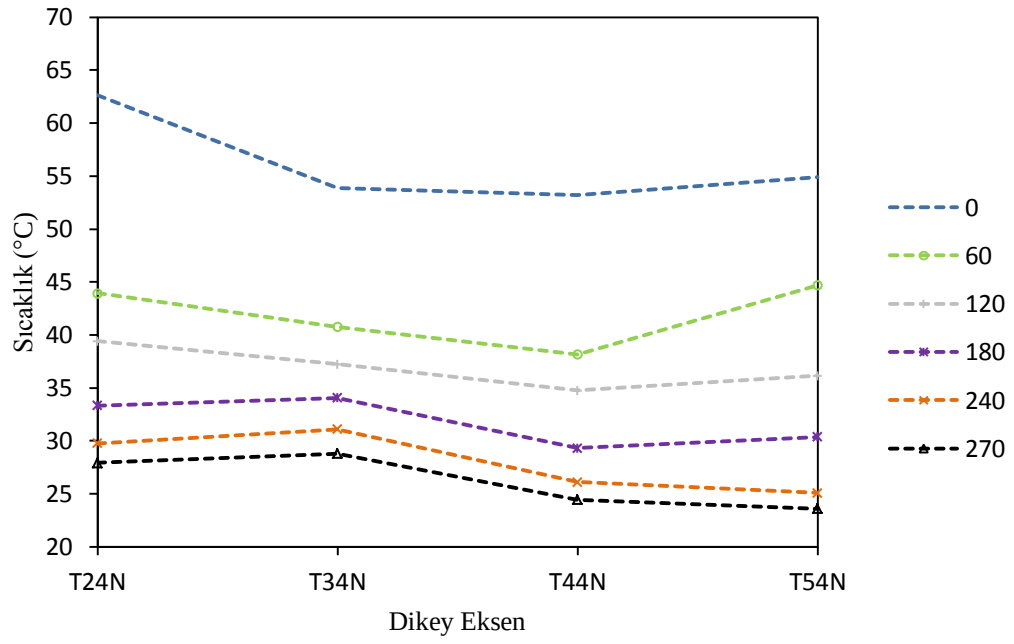
a)



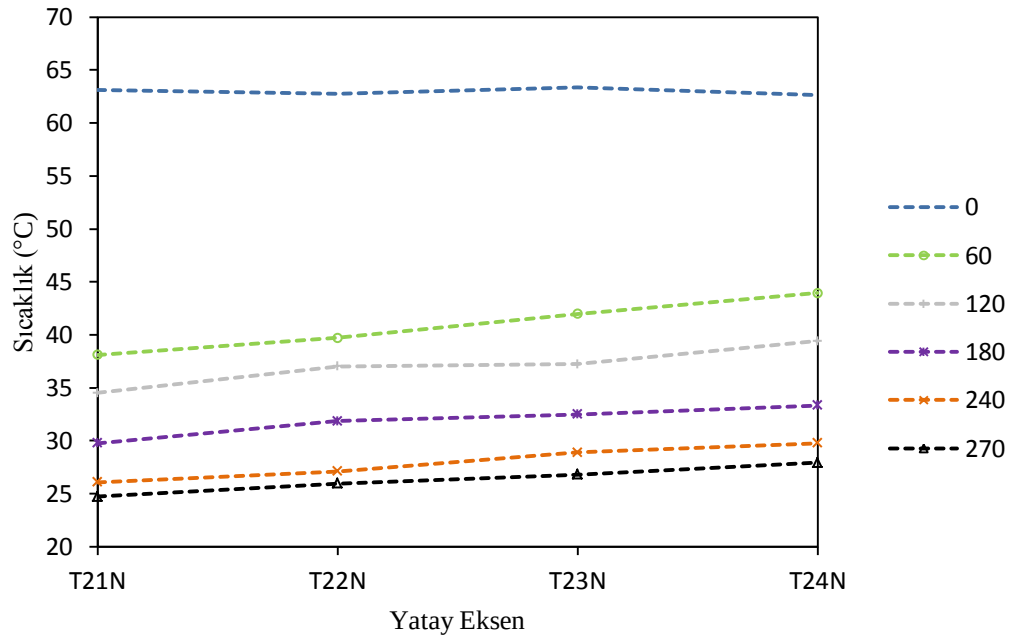
b)



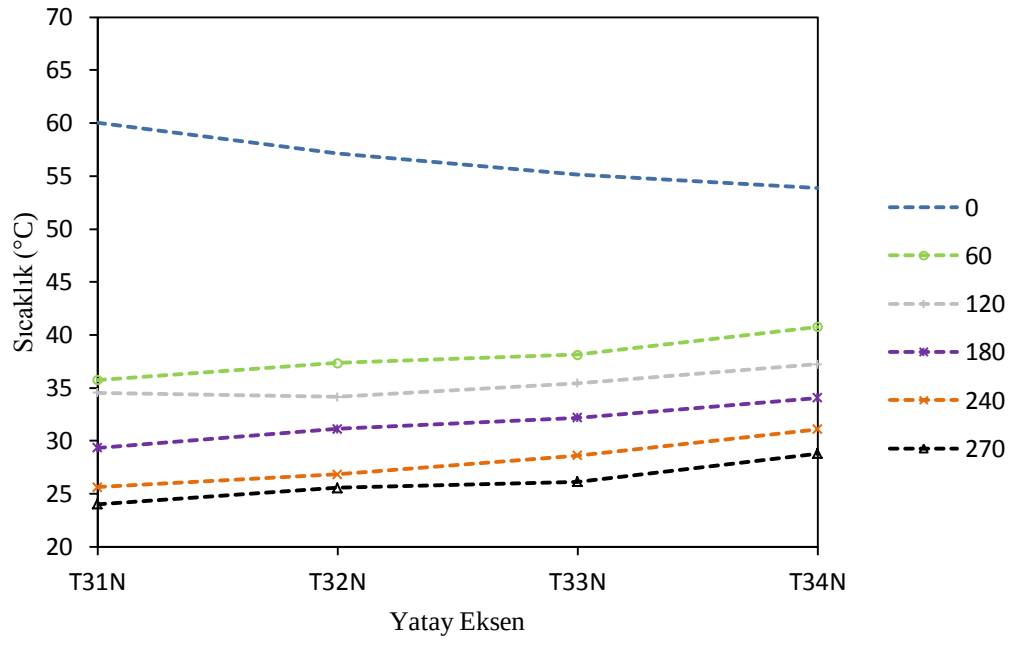
c)



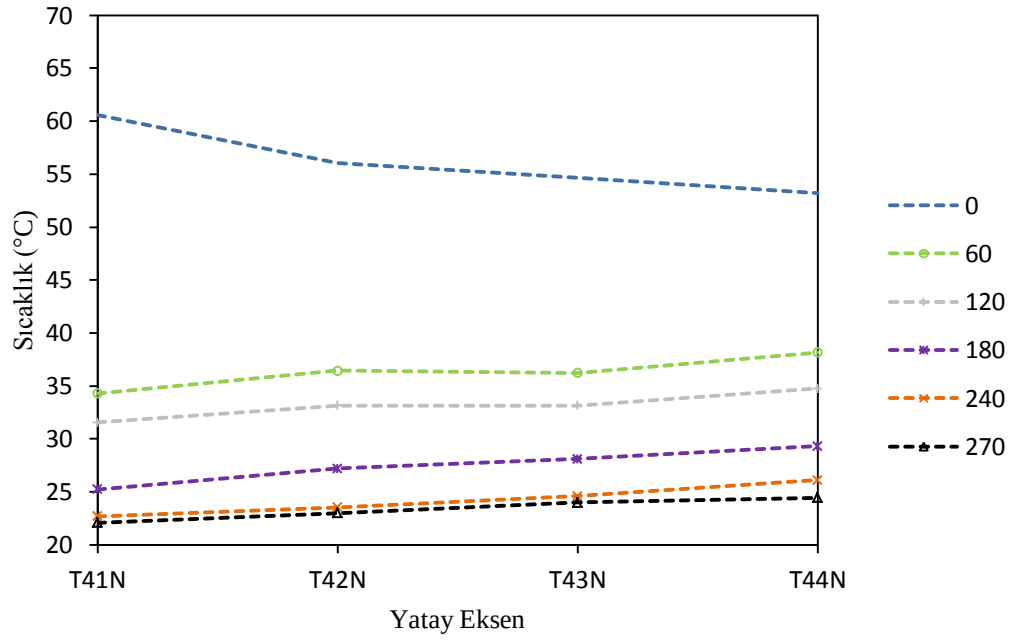
d) **Şekil 3.19.** NPKFDM'nin katılaşma esnasında dikey noktalardaki ısı çift mesafelerin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$) a) 1'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi,



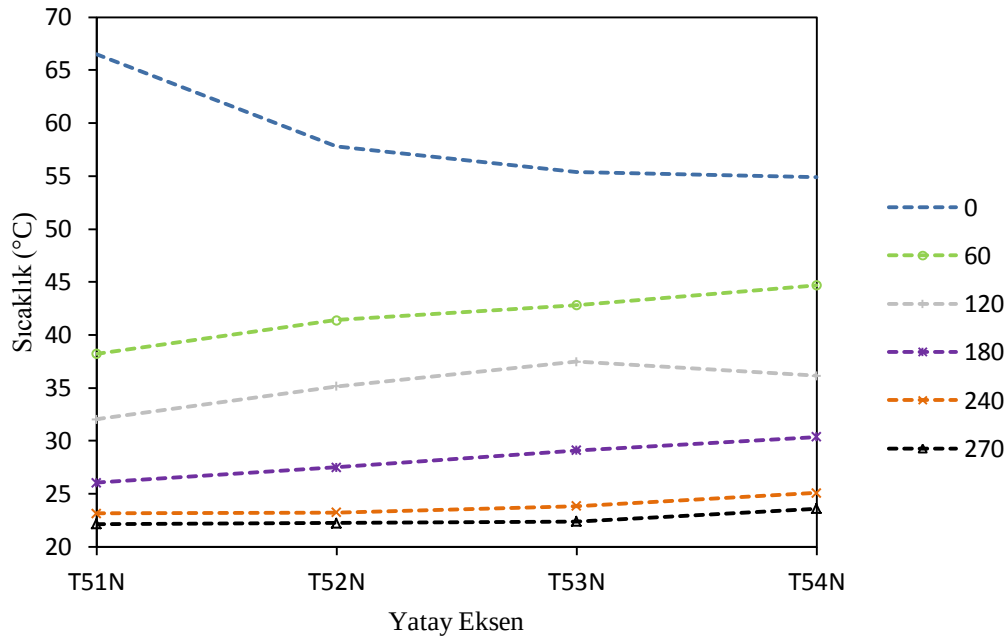
a)



b)



c)



Şekil 3.20. NPKFDM'nin katılaşma esnasında yatay noktalardaki ısı çift mesafelerinin zamana bağlı sıcaklık eğrileri ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftlerinin sıcaklık değişimi,

Tüm grafikler incelendiğinde, erime ve katılaşma süreci boyunca NPKFDM'nin faz değişimi süresinin, ötektik FDM karışımına nazaran daha iyi bir erime ve katılaşma süresi olduğu tespit edilmiştir. NPKFDM'nin erime zamanı 990 dakikada içerisinde erime gerçekleşirken, ötektik FDM karışımında 1080 dakikada erime gerçekleşmektedir. Katılaşma süresi NPKFDM karışımında, 270 dk içerisinde oda sıcaklığına ulaşırken, ötektik FDM karışımında, 360 dakika içerisinde katılaşma gerçekleşmektedir. Bu çalışmalar gösteriyor ki, termal iletkenliği iyi olan NPKFDM, ötektik FDM'ye nazaran daha iyi bir şekilde erime/katılaşma sürecini tamamlamaktadır.

Ek B ve Ek C kısımları incelendiğinde yukarıda anlattığımız özelliklere benzer bir şekilde gerçekleşmiştir. NPKFDM'nin, sıcaklığı ve debisi yüksek olan çalışmalarda erime/katılaşma sürelerinin ötektik FDM'ye göre kısa zamanlarda katı sıvı faz değişimi gerçekleştiği görülmektedir. Çalışmaların sonlarına doğru, NPKFDM'nin bulunduğu deponun içerisindeki ısı çiftlerinde bozulmalar gerçekleştiğinden dolayı bazı noktaların sıcaklık dağılımları grafiklerde verilmemiştir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

Bu tez çalışma kapsamında temel amacımız, ısı iletkenlikleri iyi olan metal ya da metal oksit nanoparçacıkları, ısıl iletkenlikleri kötü olan ötektik FDM içerisine ilave edilerek, nanoparçacık katkılı FDM'ler hazırlamaktır. Hazırlanan karışımın, termofiziksel özellikleri ve termal çevrimi incelenmiştir. Çalışmada, ötektik FDM olarak miristik asit (%90) tiyosinamin karışımı kullanılmıştır. Nanoparçacık olarak ise bakıroksit (%1) oranında ötektik FDM'nin içerisine ilave edilerek, NPKFDM hazırlanmıştır. Hazırlanan NPKFDM ve ötektik FDM'yi silindirik bir depo içerisinde erime/katılaşma süreçlerini deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ışığında elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Termal iletkenlikleri iyi olmayan FDM'leri, birbirleriyle karıştırarak saf hallerinden daha termal özelliklere sahip karışımlar elde edilmiştir. Elde edilen karışımları, DSC cihazı ile termal özellikleri belirlenmiştir. DSC cihazından elde edilen verilere göre miristik asit – tiyosinamin (%90 - %10) sahip ötektik FDM'nin deneysel çalışmalar için uygun bulunmuştur.
- Karışımlara, farklı özelliklere sahip ve termal iletkenlikleri iyi olan nanoparçacık ilave edilerek termal özellikleri iyileştirilmiştir. Ötektik FDM'nin içerisine nanoparçacıklar belirli oranlarda (%1, %1.5, %2, %5 ve %10) ilave edilerek, bu karışımların termal özellikleri incelenmiştir. Yapılan karışımlar sonucunda, %1 oranında ilave edilmiş olan bakır oksit NPKFDM karışımı seçilmiştir.
- Ötektik FDM ve NPKFDM karışımların SEM, XRD, FT-IR, termal iletkenliği ve termal çevrim özellikleri yapılarak, karışımlarda çökme veya yapısında bozulma olup olmadıkları incelenmiştir. Ötektik FDM'nin SEM görüntüsünde herhangi bir yerlerinde çökme olmadığını, NPKFDM'de bazı noktalarda ufuk bir çökme olduğunu ve bu çökmenin herhangi bir yan etkisinin olmadığını belirlenmiştir.
- Ötektik FDM ve NPKFDM'ye 2000 termal çevrim uygulanmıştır. Çevrimler sonucunda malzemenin kimyasal yapısının neredeyse hiç değişmediği belirlenmiştir.
- Termal iletkenlik cihazı ile yapılan çalışmada, ötektik FDM'nin 0.1 W/mK, NPKFDM ise 0.11 W/mK bulunmuştur.

- NPKFDM ve ötektik FDM'nin tüm termal özellikleri belirlendikten sonra silindirik bir depoda erime/katılaşma zamanları bulunmuştur. Deneysel çalışmada, depo içerisine gönderilen ısı transfer akışkanının (su) üç farklı debide (2, 3 ve 4 kg/dk) ve ısı transfer akışkanının giriş sıcaklığını 70, 73, 75 ve 77 °C'likler da erime, 20 ve 25 °C'ler katılaşma zamanları incelenmiştir.
- Ötektik FDM'nin farklı sıcaklıklarda ve debilerde çalıştırılması sonucunda erime zamanının yaklaşık olarak 18 saatte katı sıvı faz değiştiğini, NPKFDM ise bu zamanın 11 saat ile 16 saat arasında faz değiştiği bulunmuştur. Sonuçlar irdelendiğinde, NPKFDM'nin %12.5 ile %63 oranında erime zamanının azaldığını göstermiştir.
- Ötektik FDM'nin farklı sıcaklıklarda ve debilerde çalıştırılması sonucunda, katılaşma zamanının yaklaşık olarak 6 – 7 saatte sıvı katı faz değiştiğini, NPKFDM ise bu zamanın 4.5 – 5.5 saat arasında faz değiştirdiği bulunmuştur. Bu durum, NPKFDM'nin %27 ile %33 oranında katılaşma zamanının azaldığını göstermiştir.
- Yapılan tüm çalışmalar sonucunda, NPKFDM'nin hem termal özelliklerini hem de erime/katılaşma sürelerini iyileştirdiğini göstermiştir.

5. ÖNERİLER

Bu çalışmanın devamında, ileriye dönük yapılması önerilen çalışmalar şunlardır;

- Ötektik FDM olarak farklı maddeler kullanılarak erime/katılaşma süreçleri incelenebilir.
- Ötektik FDM veya saf FDM içerisine farklı oranlarda nanoparçacıklarla ilave edilerek kıyaslanması yapılabilir. Hem FDM'ler kendi arasında hem de farklı nanoparçacıklar kendi aralarında kıyaslanabilir.
- Deney setinin enerji ve ekserji analizleri yapıp, sistemin verimliliği ortaya konulabilir.
- Deney seti modellenerek sayısal çalışma yapılabilir ve deneyden elde edilen veriler ile sayısal çalışmadan elde edilen veriler kıyaslanabilir.
- Yapılan çalışmayı günlük yaşamda kullanılmak üzere yeni bir deney seti geliştirerek, ötektik FDM'yi veya NPKFDM'yi uygulamaya dönük çalışmalar yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] **Dikici, D.**, 2004. Doğal soğuk kaynaklardan yararlanan yer altı kanallarında termal enerji depolanması (KTED), *Doktora tezi*, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [2] **Abhat, A.**, 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar energy*, **30**, 313-332.
- [3] **Lane, G.A.**, 1983a. *Solar heat storage latent heat material*, CRC Pres Inc. Boca Raton/Florida.
- [4] **Öztürk, H.H.**, 2008. *Isı Depolama Tekniği*, Söz Kesen Matbaacılık, Ankara.
- [5] **Paksoy, H.Ö.**, 1992. Thermal analysis of heat storage materials and integrated heat pump and thermal energy storage, *Doktora Tezi*, Ç.Ü. Fen Bil. Enst., Adana.
- [6] **Dinçer, İ. ve Dost, S.**, 1996. A perspective on thermal energy storage systems for solar energy applications, *International Journal of Energy Research*, **20**, 547-557.
- [7] www.enerjisistemleri.org/termokimyasal-depolama.html, 15 Ocak 2013.
- [8] **Özonur, Y.**, 2004. Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değiştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [9] **Basal, B.**, 2007. Eş eksenli üç borulu ısı eşanjörlerinde faz değiştiren madde kullanarak ısı enerji depolanmasının incelenmesi, *Yüksek lisans Tezi*, K.A.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [10] **Karaipekli, A.**, 2006. Faz değişimli enerji depolama maddelerinde ısı iletkenliğinin zenginleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- [11] **Feldman, D., Shapiro M.M., and Banu D.**, 1986. Organic phase change materials for thermal energy storage. *Solar Energy Materials*, **13**, 1-10.
- [12] **Wettemark, G.**, 1989. Thermochemical energy storage, *Energy Storage Systems, NATO ASI Series; Series E: Applied Sciences*, **167**, 673-681.
- [13] **Yılmaz, S.**, 2008. Soğutma uygulamaları için faz değiştiren maddelerde termal enerji depolama, *Doktora Tezi*, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [14] **Abhat, A.**, 1981. Low temperature latent heat thermal energy storage, *Thermal Energy Storage*, D. Reidel Pub., Dordrecht, Holland.

- [15] **Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S. and Eastman, J.A.,** 1999. Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *ASME J Heat Transfer*. **121**, 280-289.
- [16] **Xuan, Y. and Li, Q.,** 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, **21**, 58-64.
- [17] **Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., ve Yılmaz, M.,** 2004. Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi. *Mühendis ve Makine*. **47**, 559.
- [18] **Mehling, H., Hiebler S. and Ziegler F.,** 2000. Latent heat storage using a PCM graphite composite material, *Proceedings of TERRASTOCK*, Stuttgart, Germany .
- [19] **Lane G.A.,** 1980. Low temperature heat storage with phase change materials, *Int. J. Ambient Energy*. **1**, 155-168.
- [20] **Cabeza, L.F., Mehling H., Hiebler S. and Ziegler F.,** 2002. Heat transfer enhancement in water when used as PCM in thermal energy storage, *Applied thermal engineering*, **22**, 1141-1151.
- [21] **Py, X., Olives, R. and Mauran S.,** 2001. Paraffin/porous-graphite-matrix composite as a high and constant power thermal storage material, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **44**, 2727-2737.
- [22] **Chow, L.C., Zhong J.K. and Beam J.E.,** 1996. Thermal conductivity enhancement for phase change storage media, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, **23**, 91-100
- [23] **Xiao M., Feng B., and Gong K.,** 2002. Preparation and performance of shape stabilized phase change thermal storage materials with high thermal conductivity, *Energy Conversion and Management*, **43**, 103-108.
- [24] **Fukai, J., Hamada, Y., Morozumi, Y. and Miyatake O.,** 2002. Effect of carbon-fiber brushes on conductive heat transfer in phase change materials, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, **45**, 4781-4792.
- [25] **Zalba, B., Marín, J.M., Cabeza, L.F. and Mehling, H.,** 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, **23**, 251-283.
- [26] **Mulligan J.C.,** 1996. Microencapsulated phase-change material suspensions for heat transfer in spacecraft thermal systems, *Journal of Spacecraft and Rockets*, **33**, 278-284.

- [27] **Cabeza, L.F., Ibanez, M., Sole, C., Roca, J. and Nogues, M.,** 2006. Experimentation with a water tank including a PCM module, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **90**, 1273-1282.
- [28] **Mehling H., Cabeza L.F., Hippeli, S. and Hiebler S.,** 2003. PCM-module to improve hot water heat stores with stratification, *Renewable Energy*, **28**, 699-711.
- [29] **Sarı A,** 2003. Thermal reliability test of some fatty acids as PCMs used for solar thermal latent heat storage applications, *Energy Conversion & Management*, **44**, 2277-87.
- [30] **Shukla, A., Buddhi, D. and Sawhney, R.L.,** 2008. Thermal cycling test of few selected inorganic and organic phase change materials, *Renewable Energy*, **33**, 2606-14.
- [31] **Dimaano, M.N.R. and Watanabe T.,** 2002. The capric - lauric acid and pentadecane combination as phase change material for cooling applications, *Applied Thermal Engineering*, **22**, 365-377.
- [32] **Sarı, A.,** 2005. Eutectic mixtures of some fatty acids for low temperature solar heating applications: Thermal properties and thermal reliability, *Applied Thermal Engineering*, **25**, 2100-07.
- [33] **Sharma, S.D., Buddhi, D. and Sawhney, R.L.,** 1999. Accelerated thermal cycle test of latent heat-storage materials, *Solar Energy*, **66**, 483-90.
- [34] **Akgün, M., Aydın, O. ve Kaygusuz, K.,** 2007. Experimental study on melting/solidification characteristics of a paraffin as PCM, *Energy Conversion & Management*, **48**, 669-78.
- [35] **Zuo, J., Li, W. and Weng, L.,** 2001. Thermal performance of caprylic acid/1-dodecanol eutectic mixture as phase change material (PCM), *Energy and Buildings*, **43**, 207-10.
- [36] **Cedeño, F.O., Prieto, M.M., Espina, A. and García, J.R.,** 2001. Measurements of temperature and melting heat of some pure fatty acids and their binary and ternary mixtures by differential scanning calorimetry, *Thermochimica Acta*, **369**, 39-50.
- [37] **Keleş, S., Kaygusuz, K. ve Sarı, A.,** 2005. Lauric and myristic acids eutectic mixture as phase change material for low-temperature heating applications, *International Journal of Energy Research*, **29**, 857-70.

- [38] **Reddy, R.M., Nallusamy, N., Prasad, B.A. and Reddy, K.H.,** 2012. Thermal energy storage system using phase change materials – constant heat source, *Thermal Science*, **16**, 1097-104.
- [39] **Cho, K. and Choi, S.H.,** 2000. Thermal characteristics of paraffin in a spherical capsule during freezing and melting processes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **43**, 3183-96.
- [40] **Gürtürk, M.,** 2011. Depo kısmında faz değiştiren madde bulunan güneş enerjili su ısıtma sisteminin tasarımı ve ısıl performansının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [41] **Wang, J., Xie, H. and Xin, Z.,** 2009. Thermal properties of paraffin based composites containing multi-walled carbon nanotubes, *Thermochimica Acta*, **488**, 39-42.
- [42] **Sarı, A. ve Karaipekli, A.,** 2009. Preparation, thermal properties and thermal reliability of palmitic acid/expanded graphite composite as form-stable PCM for thermal energy storage, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **93**, 571-76.
- [43] **Xia, L., Zhang, P. and Wang, R.Z.,** 2010. Preparation and thermal characterization of expanded graphite/paraffin composite phase change material, *Carbon*, **48**, 2538-48.
- [44] **Wu, S., Zhu, D., Zhang, X. and Huang, J.,** 2010. Preparation and melting/freezing characteristics of Cu/Paraffin nanofluid as phase change material (PCM), *Energy Fuels*, **24**, 1894-98.
- [45] **Zeng, J.L., Cao, Z., Yang, D.W., Sun, L.X. and Zhang, L.,** 2010. Thermal conductivity enhancement of Ag nanowires on an organic phase change material, *J Therm Anal Calorim*, **101**, 385-89.
- [46] **Wang, J.F., Xie, H.Q. and Xin, Z.,** 2010. Enhancing thermal conductivity of palmitic acid based phase change materials with carbon nanotubes as fillers, *Solar Energy*, **84**, 339-44.
- [47] **Sanusi, O., Warzoha, R. and Fleischer, A.S.,** 2011. Energy storage and solidification of paraffin phase change material embedded with graphite nanofibers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **54**, 4429-36.
- [48] **Sarı, A.,** 2004. Form-stable paraffin/high density polyethylene composites as solid-liquid phase change material for thermal energy storage: preparation and thermal properties, *Energy Conversion & Management*, **45**, 2033-42.

- [49] **Wang, W., Yang, X., Fang, Y., Ding, J. and Yan, J.,** 2009. Enhanced thermal conductivity and thermal performance of form-stable composite phase change materials by using β -Aluminum nitride, *Applied Energy*, **86**, 1196-200.
- [50] **Zeng, J.L., Cao, Z., Yang, D.W., Xu, F., Sun, L.X., Zhang, X.F. and Zhang, L.,** 2009. Effects of MWNTs on phase change enthalpy and thermal conductivity of a solid-liquid organic PCM, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **95**, 507-12.
- [51] **Jesumathy, S., Udayakumar, M. and Suresh, S.,** 2012. Experimental study of enhanced heat transfer by addition of CuO nanoparticle, *Heat Mass Transfer*, **48**, 965-78.
- [52] **Liu, Y.D., Zhou, Y.G., Tong, M.W. and Zhou, X.S.,** 2009. Experimental study of thermal conductivity and phase change performance of nanofluids PCMs, *Microfluid Nanofluid*, **7**, 579-84.
- [53] **Zhong, Y., Li, S., Wei, X., Liu, Z., Guo, Q., Shi, J. and Liu, L.,** 2010. Heat transfer enhancement of paraffin wax using compressed expanded natural graphite for thermal energy storage, *Carbon*, **48**, 300-04.
- [54] **Kim, S. and Drzal, L.T.,** 2009. High latent heat storage and high thermal conductive phase change materials using exfoliated graphite nanoplatelets, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **93**, 136-42.
- [55] **Sari, A. ve Karaipekli, A.,** 2008. Preparation, thermal properties and thermal reliability of capric acid/expanded perlite composite for thermal energy storage, *Materials Chemistry and Physics*, **109**, 459-64.
- [56] **Ho, C.J. and Gao, J.Y.,** 2009. Preparation and thermophysical properties of nanoparticle-in-paraffin emulsion as phase change material, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **36**, 467-70.
- [57] **Ai, D., Su, L., Gao, Z., Deng, C. and Dai, X.,** 2010. Study of ZrO₂ nanopowders based stearic acid phase change materials, *Particuology*, **8**, 394-97.
- [58] **Kumaresan, V., Velraj, R. and Das, S.K.,** 2012. The effect of carbon nanotubes in enhancing the thermal transport properties of PCM during solidification, *Heat Mass Transfer*, **48**, 1345-1355.
- [59] **Cui, Y., Liu, C., Hu, S. and Yu, X.,** 2011. The experimental exploration of carbon nanofiber and carbon nanotube additives on thermal behavior of phase change materials, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **95**, 1208-12.

- [60] **Wang, N., Zhang, X.R., Zhu, D.S. and Gao, J.W.,** 2012. The investigation of thermal conductivity and energy storage properties of graphite/paraffin composites, *J Therm Anal Calorim*, **107**, 949-54.
- [61] **Zeng, J.L., Cao, Z., Yang, D.W., Sun, L.X. and Zhang, L.,** 2010. Thermal conductivity enhancement of Ag nanowires on an organic phase change material, *J Therm Anal Calorim*, **101**, 385-89.
- [62] **Karaipekli, A., Sari, A. ve Kaygusuz, K.,** 2007. Thermal conductivity improvement of stearic acid using expanded graphite and carbon fiber for energy storage applications, *Renewable Energy*, **32**, 2201-10.
- [63] **Bayramoğlu, E.Ç.,** 2011. Thermal properties and stability of n-octadecane based composites containing multiwalled carbon nanotubes, *Opolymer Composites*, **32**, 904-09.
- [64] **Zeng, J.L., Liu, Y.Y., Cao, Z.X., Zhang, J., Zhang, Z.H., Sun, L.X. and Xu, F.,** 2008. Thermal conductivity enhancement of MWNTs on the Pani/tetradecanol form-stable PCM, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **91**, 443-46.
- [65] **Frusteri, F., Leonardi, V., Vasta, S. and Restuccia, G.,** 2005. Thermal conductivity measurement of a PCM based storage system containing carbon fibers, *Applied Thermal Engineering*, **25**, 1623-33.
- [66] **Li, M. and Wu, Z.,** 2013. Thermal properties of the graphite/n-docosane composite PCM. *J. Term. Analysis and Calorimetry*, **111**, 77-83.

7. EKLER

Tablo A.1 FDM’lerin ötektik karışımlar için hazırlanan numunelerin DSC sonuçları

NUMUNELER	C _p (j/kgK)	h (j/g)	m (mg)	T _e (°C)	T _o (°C)	T _s (°C)
Potasyum florür	304.93	27.24	16	42.92	40.79	44.79
Miristik asit	63039.49	351.97	1	56.49	55.01	58.47
Laurik asit	12486.29	139.43	2	47.45	45.21	49.45
Palmitik asit	14344.5	240.27	3	65.91	63.62	68.72
Sodyumasetat tri hidrat	11983.45	267.63	4	61.29	59.55	64.77
Stearik asit	25183.02	281.21	2	71.06	69.65	73.57
Tiyosinamin	13202.26	176.91	2.4	72.61	71.04	75.31
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Potasyum florür (%40 - %60)	115.57	8.13	12.6	72.99	62.03	79.94
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Potasyum florür (%60 - %40)	53.45	5.67	19	43.56	38.1	53.72
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Laurik asit (%40 - %60)	1020.71	55.28	9.7	51.24	46.28	55.11
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Laurik asit (%60 - %40)	4613.38	128.79	5	47.79	45.04	52.49
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Miristik asit (%40 - %60)	1328.96	55.65	7.5	57.47	55.8	61.61
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Miristik asit (%60 - %40)	3501.98	144.69	7.4	61.07	56.7	66.55
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Palmitik asit (%40 - %60)	3782.13	175.27	8.3	68.28	63.32	74.71
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Palmitik asit (%60 - %40)	2924.52	125.73	7.7	66.33	62.87	71.2
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Stearik asit (%40 - %60)	3732.12	193.78	9.3	74.53	70.22	81.01
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Stearik asit (%60 - %40)	417.1	41.22	17.7	76.84	71.87	80.5
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Tiyosinamin (%40 - %60)	534.21	31.02	10.4	76.97	70.35	80.46
Alüminyum Amonyum Sülfat Dodekahidrat – Tiyosinamin (%60 - %40)	1226.12	65.72	9.6	72.43	66.18	76.41

Tablo A.1 FDM’lerin ötektik karışımlar için hazırlanan numunelerin DSC sonuçları

NUMUNELER	C _p (j/kgK)	h (j/g)	m (mg)	T _e (°C)	T _o (°C)	T _s (°C)
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Potasyum florür (%33 – %67)	2923.01	267.65	16.4	88.94	111.52	95.69
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Potasyum florür (%40 – %60)	851.62	107.46	22.6	83.83	37.6	88.14
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Laurik asit (%67 – %33)	761.4	36.56	8.6	56.15	53.27	58.65
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Laurik asit (%40 – %60)	1589.26	106.48	12	58.19	52.2	61.55
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Laurik asit (%60 – %40)	3458.51	96.55	5	56.57	54.34	59.86
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Miristik asit (%33 – %67)	1616.6	90.26	10	68.26	62.83	71.85
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Miristik asit (%67 – %33)	1098.75	60.12	9.8	71.16	68.84	74.6
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Miristik asit (%40 – %60)	1411.7	78.82	10	66.74	59.17	70.49
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Miristik asit (%60 – %40)	1194.03	68	10.2	67.58	63.77	70.97
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Sodyumasetat tri hidrat (%33 – %67)	2668.26	134.08	9	60.62	59.17	62.69
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit (%33 – %67)	2527.39	112.89	8	77.48	70.79	80.02
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit (%67 – %33)	855.44	50.15	10.5	78.09	76.21	80.64
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit (%40 – %60)	1709.02	143.13	15	81.12	76.05	86.08
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit (%60 – %40)	2090.18	78.19	6.7	77.75	73.24	79.96
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Stearik asit (%33 – %67)	7811.41	191.9	4.4	71.42	69.59	73.97

Tablo A.1 FDM’lerin ötektik karışımlar için hazırlanan numunelerin DSC sonuçları

NUMUNELER	C _p (j/kgK)	h (j/g)	m (mg)	T _e (°C)	T _o (°C)	T _s (°C)
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Stearik asit (%67 – %33)	1295.76	108.52	15	85.29	82.01	88.62
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Stearik asit (%40 – %60)	1137.09	75.55	11.9	84.24	81.45	87.25
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Stearik asit (%60 – %40)	1170.71	91.51	14	85.44	83.06	88.64
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Tiyosinamin (%33 – %67)	2253.64	80.53	6.4	71.58	69.03	73.87
Laurik asit – Tiyosinamin (%90 - %10)	2539.88	178.68	12.6	44.81	42.16	47.19
Laurik asit – Tiyosinamin (%80 - %20)	1181.91	128.68	19.5	50.21	42.68	56.71
Miristik asit – Tiyosinamin (%60 – %40)	11909.57	132.99	2	53.71	51.76	55.59
Tiyosinamin – Asetik asit (%60 – %40)	4066.04	113.51	5	72.09	69.94	75.54
Tiyosinamin – Kamfen (%60 – %40)	6166.58	172.15	5	74.14	71.77	78.48
Tiyosinamin – Kamfen (%80 – %20)	6483.95	181.01	5	74.5	70.91	79.24
Tiyosinamin – Dekonik asit (%60 – %40)	2732.06	76.27	5	69.67	64.86	73.21
Tiyosinamin – Kriptofix(%60 – %40)	3527.65	98.48	5	78.5	75.09	82.12
Tiyosinamin – Kriptofix (%80 – %20)	6361.80	177.6	5	75.18	70.16	79.72
Tiyosinamin – n heksadekan (%60 – %40)	5040.37	140.71	5	73.44	70.21	78.04
Tiyosinamin – n heksadekan (%80 – %20)	4829.02	134.81	5	74.92	70.12	78.97
Tiyosinamin – Parafin (%80 – %20)	3265.08	91.15	5	71.87	64.58	76.59
Tiyosinamin – Parafin (%60 – %40)	3304,12	92.24	5	73.52	70.21	76.92
Tiyosinamin – Tetradekan (%60 – %40)	5009.92	139.86	5	73.78	69.65	77.47
Tiyosinamin – Tetradekan (%80 – %20)	4735.89	132.21	5	74.96	71.7	79.09

Tablo A.2 NPKFDM için hazırlanan numunelerin DSC sonuçları

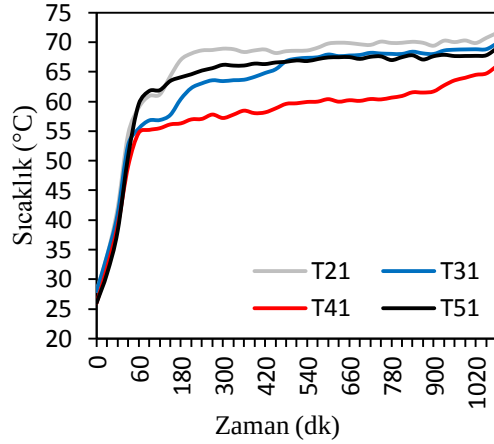
NUMUNE	C _p (j/kgK)	h (j/g)	m (mg)	ρ (g/cm ³)	T _e (°C)	T _o (°C)	T _s (°C)
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit – Alüminyum oksit (%60 – %40 – %1)	2368.66	79.35	6	1.077	81.8	78.61	84.98
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit – Alüminyum oksit (%60 – %40 – %1.5)	1502.02	134.2	16	1.021	82.37	77.58	89.85
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit – Alüminyum oksit (%60 – %40 – %2)	5298.99	147.93	5	1.244	81.4	79	85.33
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit – Bakır oksit (%40 – %60 – %1.5)	3339.73	87.64	4.7	0.956	68.41	64.19	76.03
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit – Bakır oksit (%40 – %60 – %2)	2077.07	114.81	9.9	1.077	81.3	76.02	87.66
Disodyumhidrojenfosfat dodecahidrat – Palmitik asit – Grafit (%40 – %60 – %1)	4119.41	138	6	0.895	80.52	75.76	84.27
Laurik asit – Bakır oksit (%1)	6527.57	150.52	4.13	0.873	45.94	43.46	48.56
Laurik asit – Tiyosinamin – Bakır oksit (%80 – %20 – %1)	1169.16	58.75	9	0.798	42.30	35.51	45.74
Laurik asit – Tiyosinamin – Bakır oksit (%80 – %20 – %2)	1126.44	70.44	11.2	0.826	45.99	40.76	50.23
Laurik asit – Tiyosinamin – Grafit (%80 – %20 – %2)	2286.69	128.95	10.1	0.933	46.64	41.06	52.54
Laurik asit – Tiyosinamin – Alüminyum oksit (%80 – %20 – %1)	3436.67	128.56	6.7	0.993	45.97	40.76	50.38
Laurik asit – Tiyosinamin – Alüminyum oksit (%80 – %20 – %2)	4719.05	131.74	5	0.972	45.94	41.36	49.47
Miristik asit – Tiyosinamin – Alüminyum oksit (%60 – %40 – %1)	2367.25	146.71	11.1	0.867	58.03	53.42	64.56
Miristik asit – Tiyosinamin – Alüminyum oksit (%60 – %40 – %2)	2340.6	78.41	6	1.037	57.82	54.49	61.31
Miristik asit – Tiyosinamin – Bakır oksit (%60 – %40 – %1)	1028.55	75.23	13.1	0.979	56.66	53.28	61.6
Miristik asit – Tiyosinamin – Bakır oksit (%60 – %40 – %1.5)	2315.36	108.59	8.4	0.9	58.08	53.85	63.07

Tablo A.2 NPKFDM için hazırlanan numunelerin DSC sonuçları

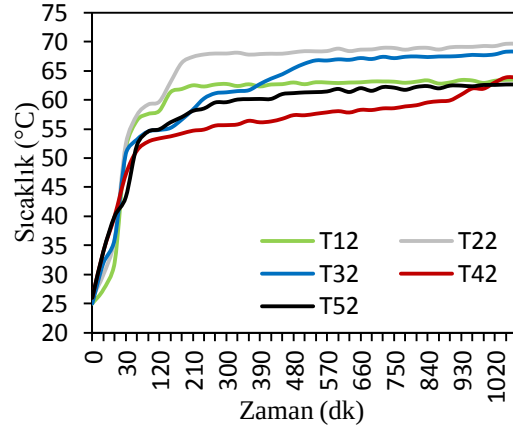
Miristik asit – Tiyosinamin – Grafit (%60 - %40 - %1)	4126.26	156.66	6.8	1	57.87	53.84	63.03
Miristik asit – Tiyosinamin – Grafit (%60 - %40 - %1.5)	2532.47	149.88	10.6	0.895	58.13	54.5	65.35
Miristik asit – Tiyosinamin – Grafit (%60 - %40 - %2)	6185.56	172.68	5	0.797	57.86	54.18	62.91

Tablo A.3 Ötektik FDM ve NPKFDM için hazırlanan numunelerin termal iletkenlikleri

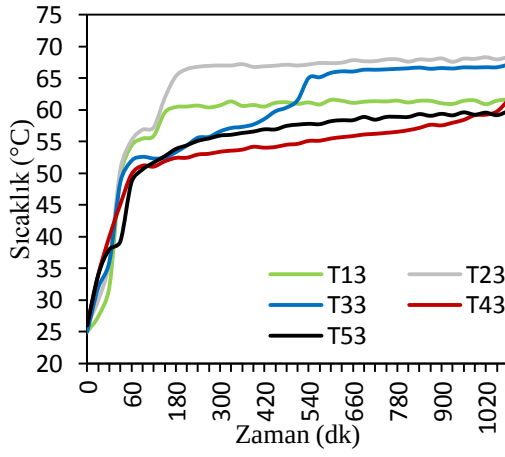
Karışımlar	1.Deneme (W/m°C)	2.Deneme (W/m°C)	3.Deneme (W/m°C)	Ortalama (W/m°C)
Miristik – Tiyosinamin (%90 - %10)	0.10	0.10	0.10	0.10
Miristik – Tiyosinamin – Bakır oksit (%1)	0.11	0.12	0.11	0.11
Miristik – Tiyosinamin – Bakır oksit (%2)	0.15	0.16	0.15	0.15
Miristik – Tiyosinamin – Bakır oksit (%5)	0.15	0.17	0.15	0.15
Miristik – Tiyosinamin – Alüminyum oksit (%1)	0.13	0.13	0.14	0.13
Miristik – Tiyosinamin – Alüminyum oksit (%3)	0.14	0.15	0.15	0.15
Miristik – Tiyosinamin – Grafit (%5)	0.15	0.14	0.14	0.14
Miristik – Tiyosinamin – Grafit (%10)	0.16	0.16	0.15	0.16
Miristik – Tiyosinamin – Grafit (%15)	0.17	0.16	0.16	0.16



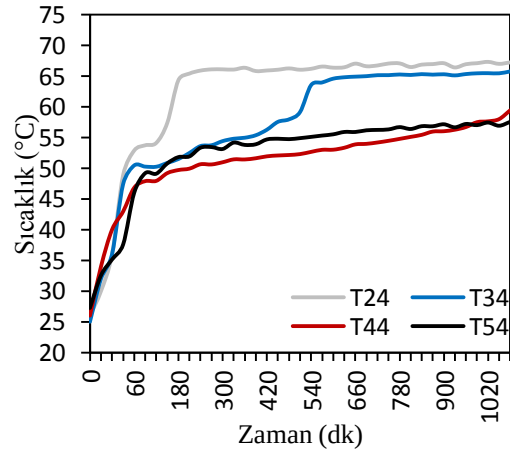
a)



b)

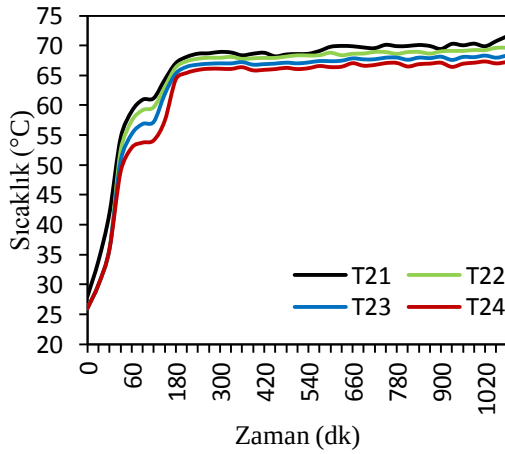


c)

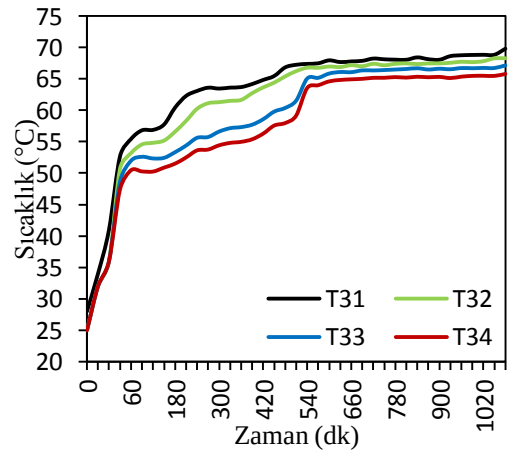


d)

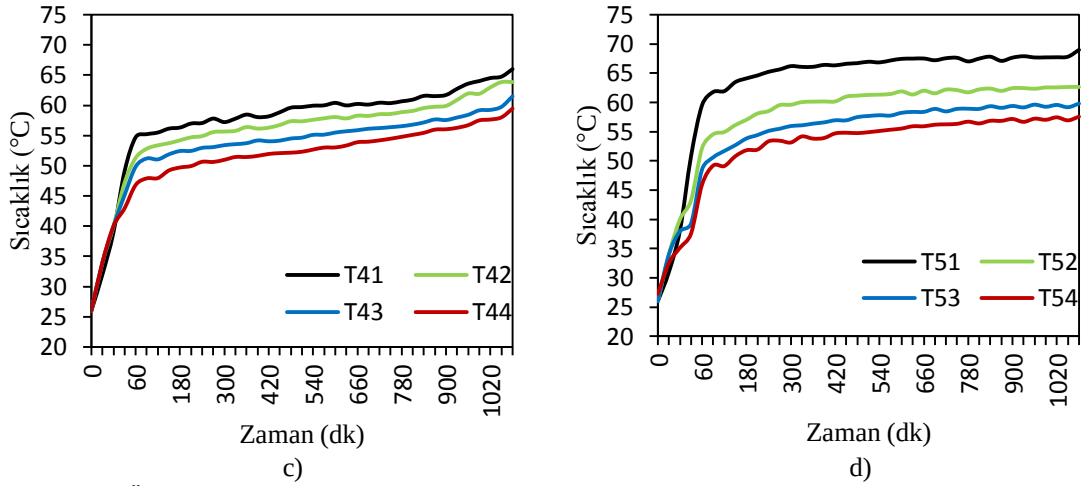
Şekil B.1. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 77^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



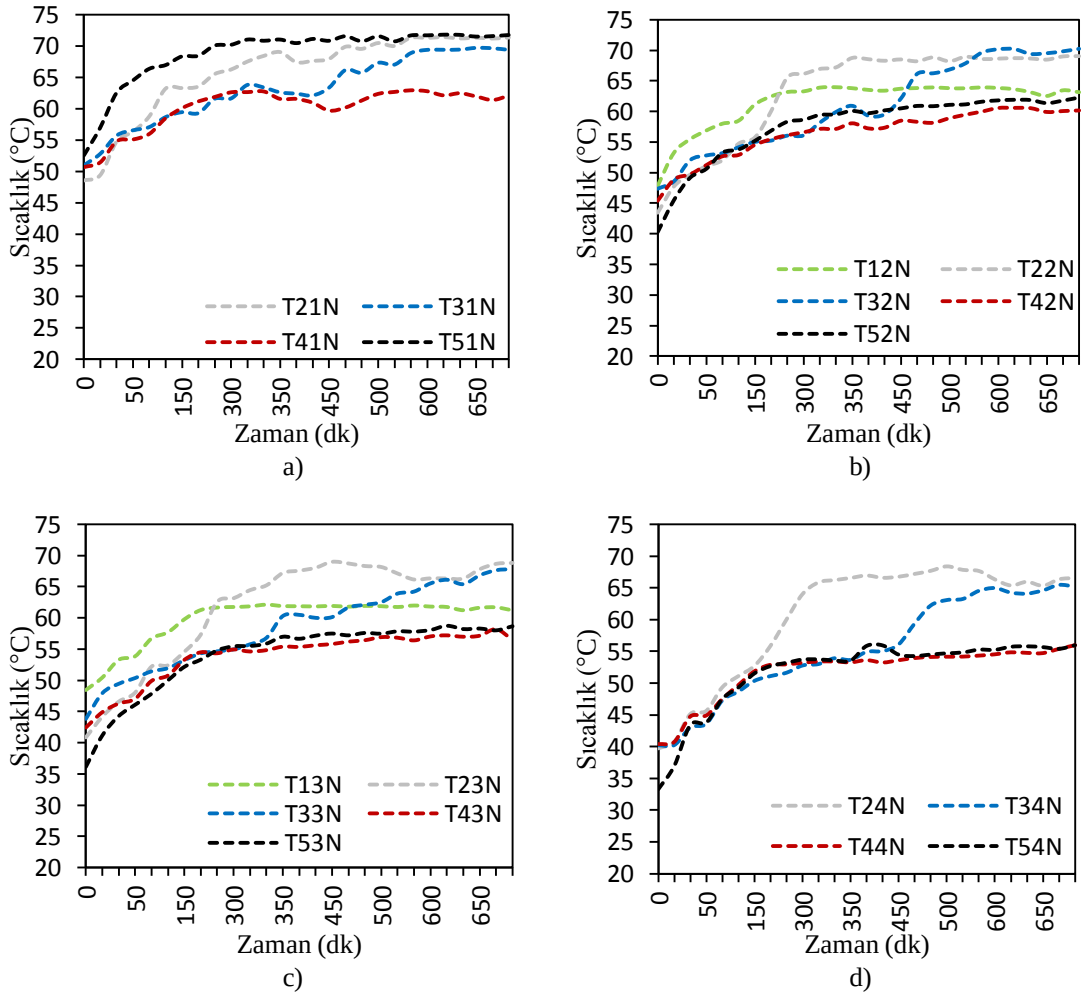
a)



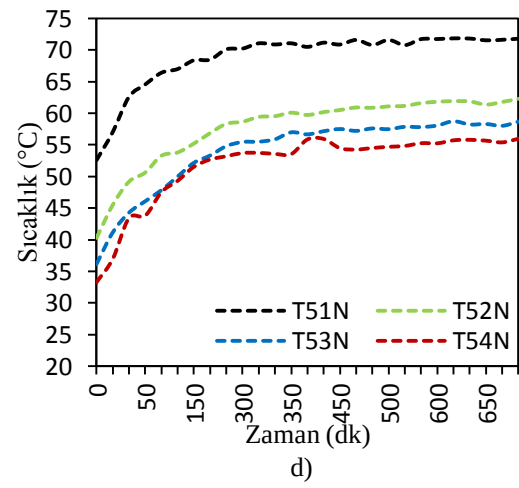
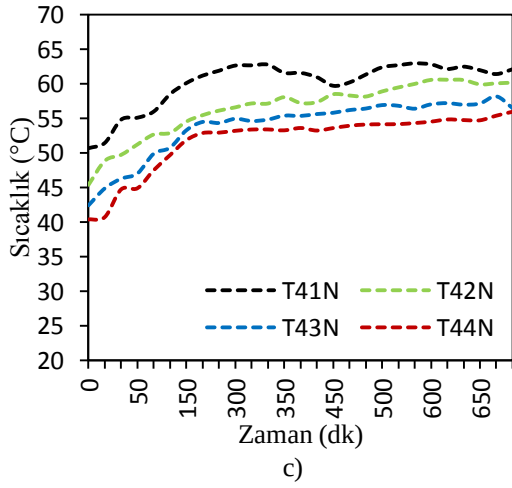
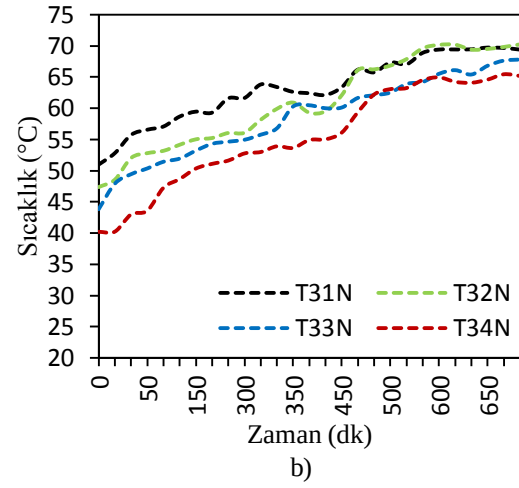
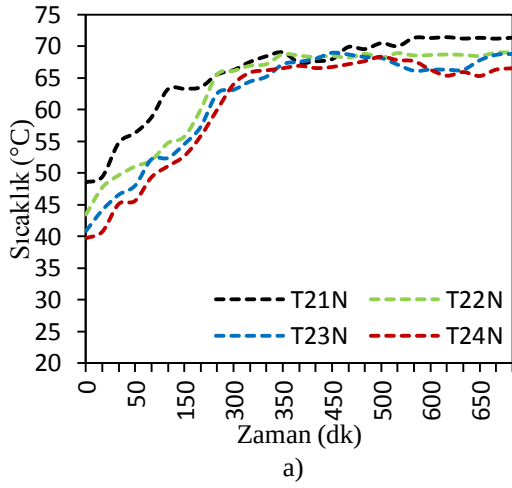
b)



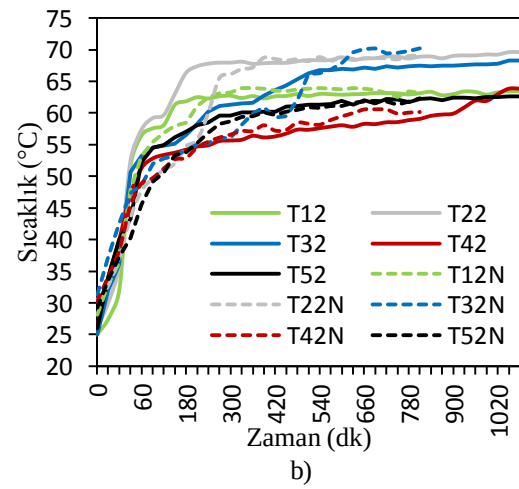
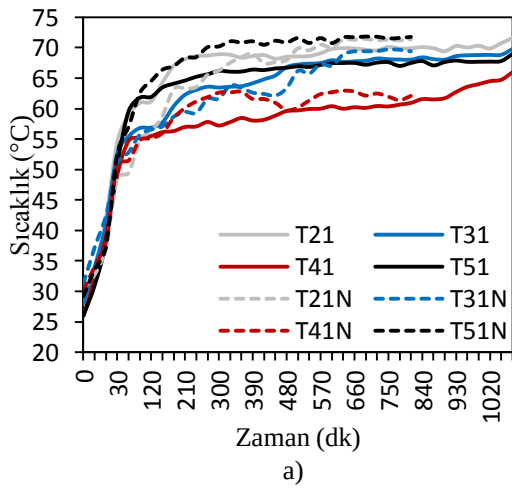
Şekil B.2. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 77^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

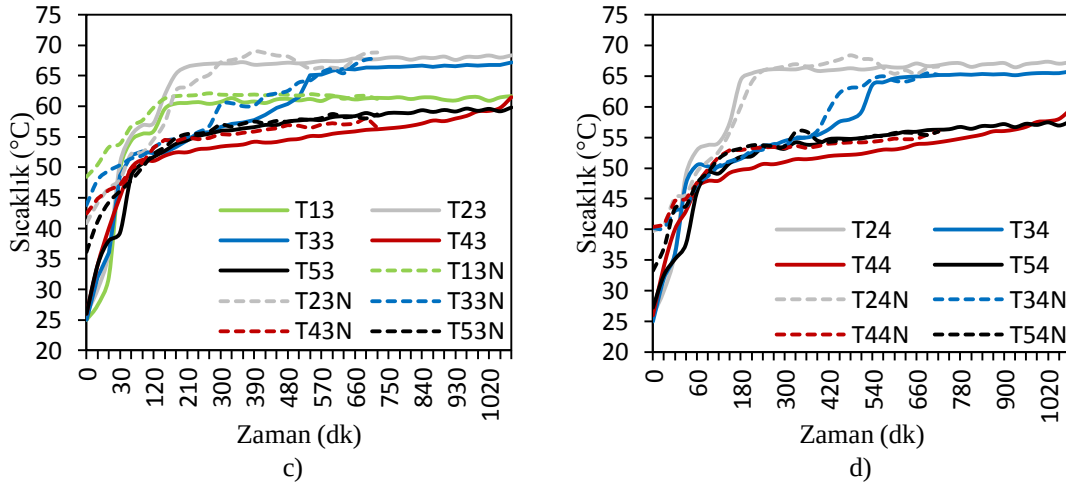


Şekil B.3. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 77^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

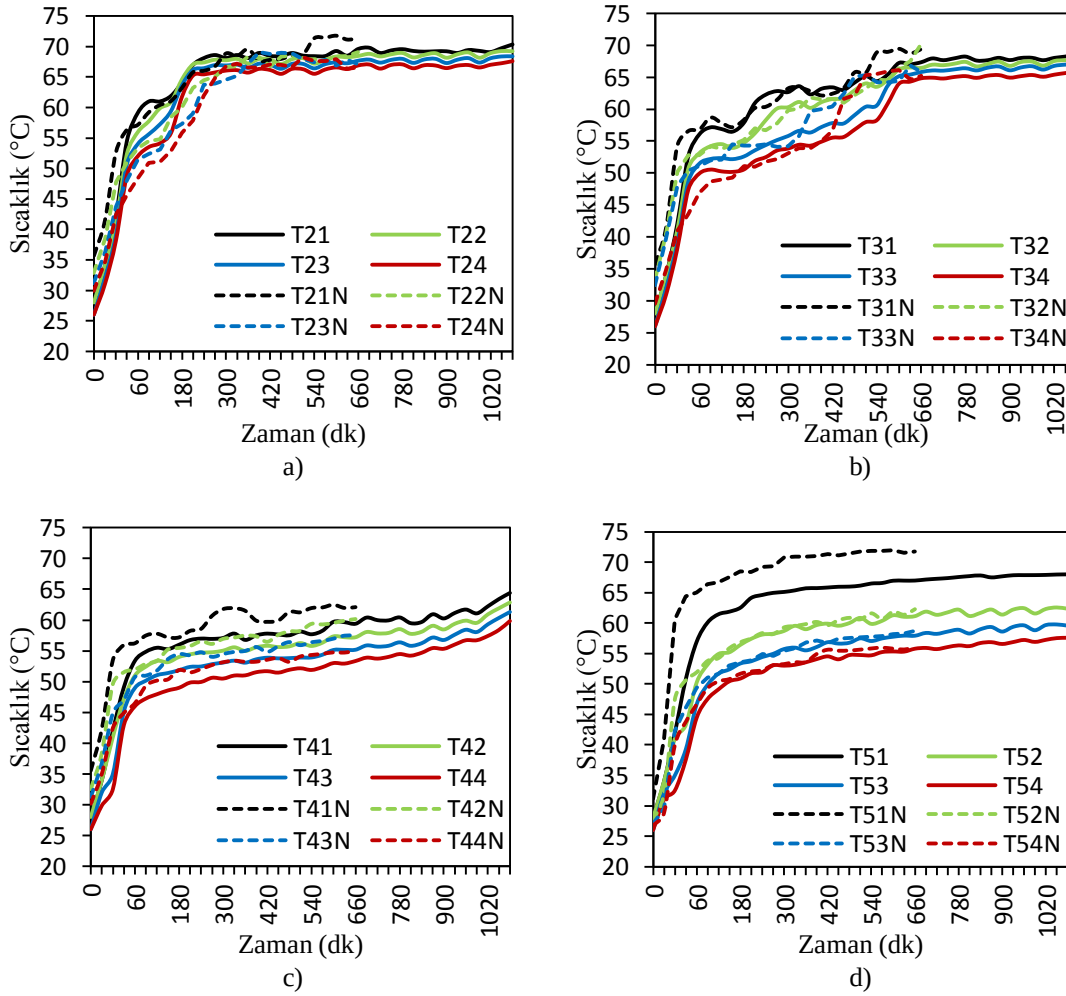


Şekil B.4. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 77\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

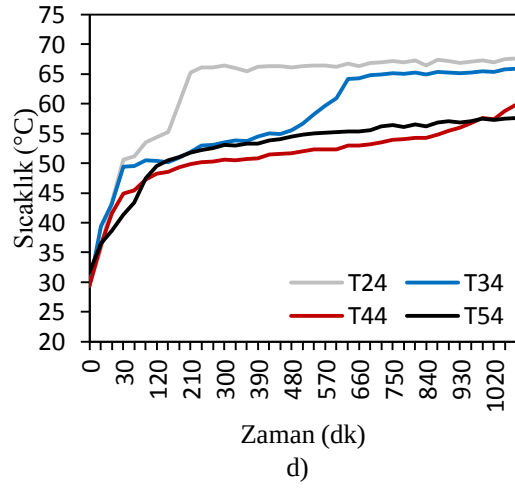
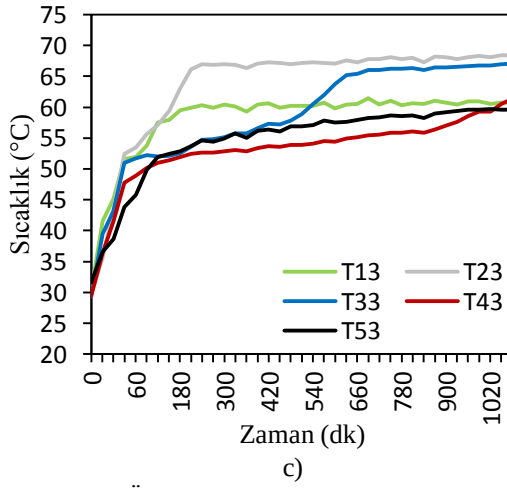
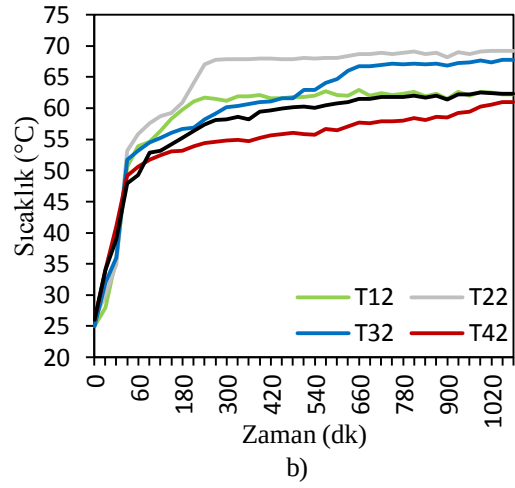
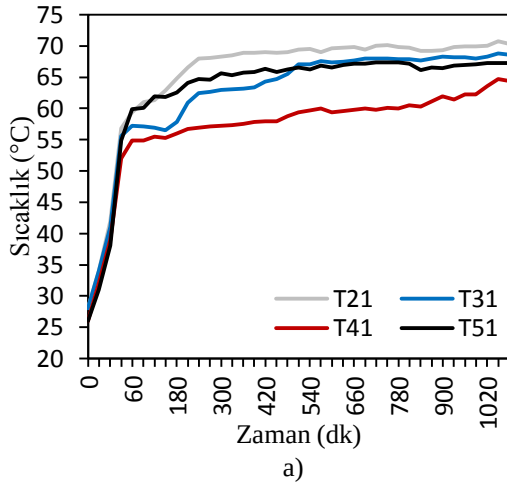




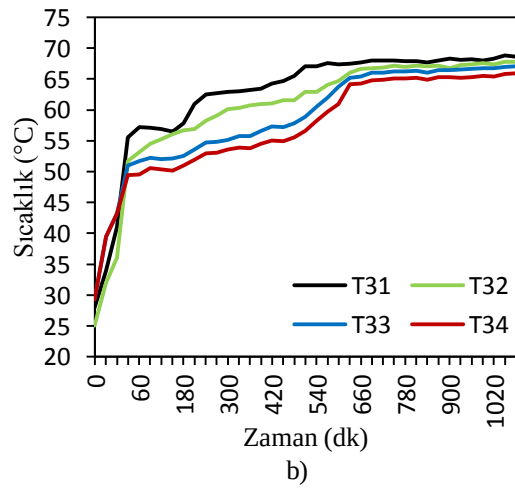
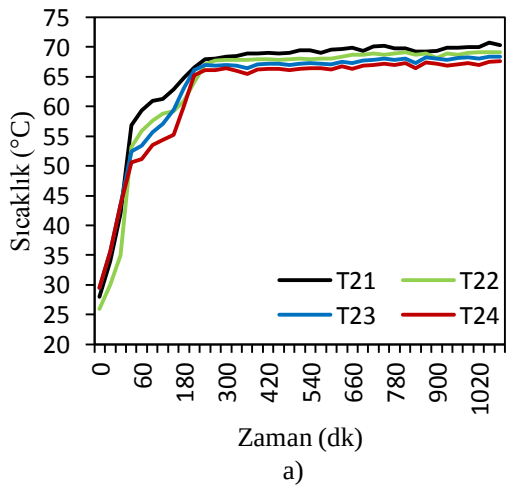
Şekil B.5. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 77^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi

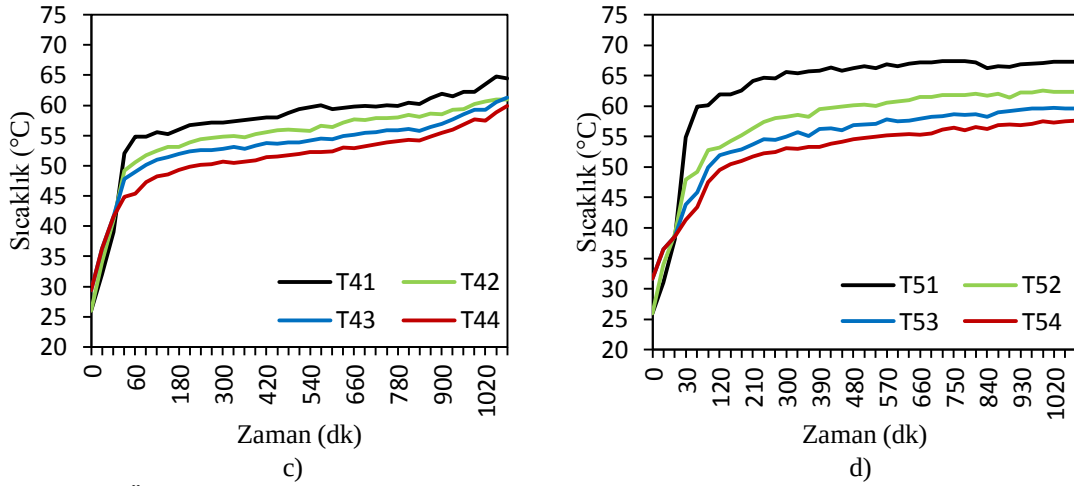


Şekil B.6. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 77^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

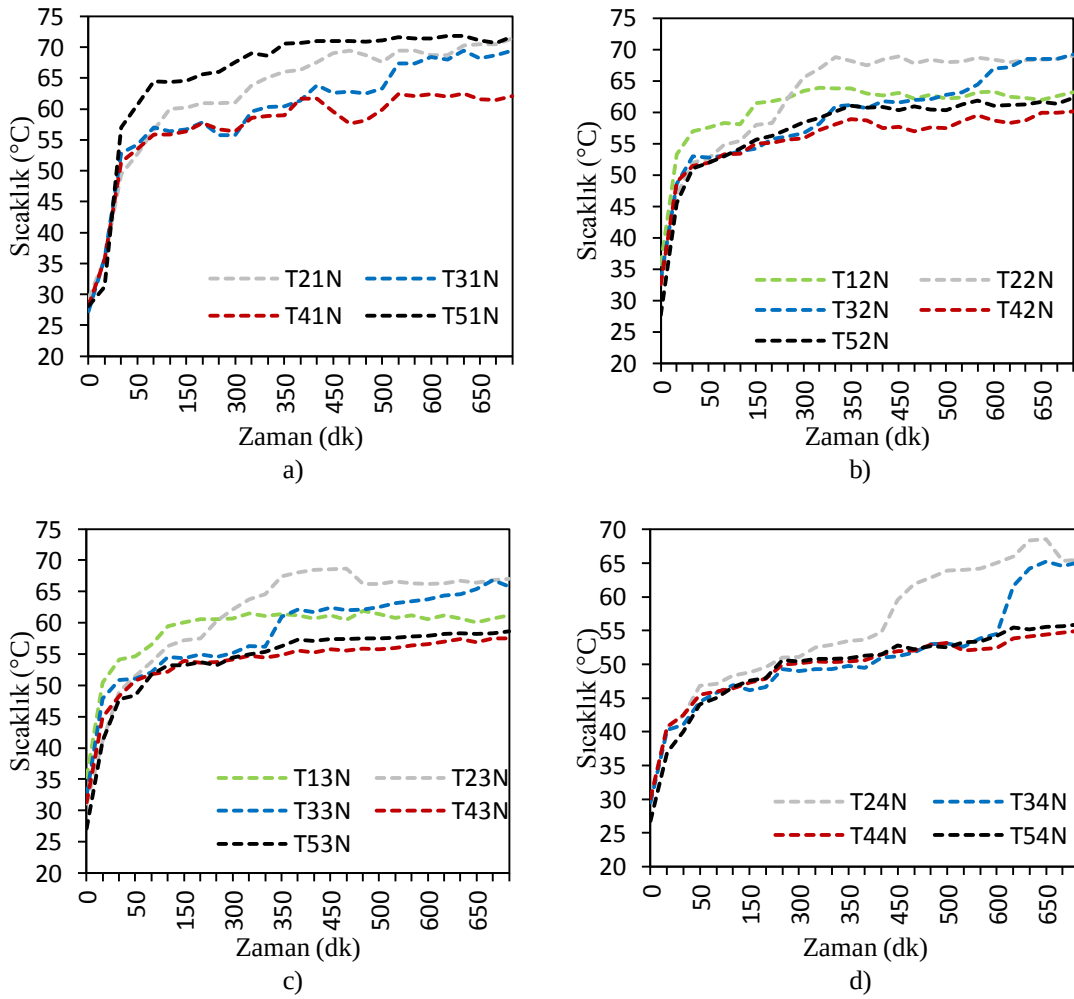


Şekil B.7. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

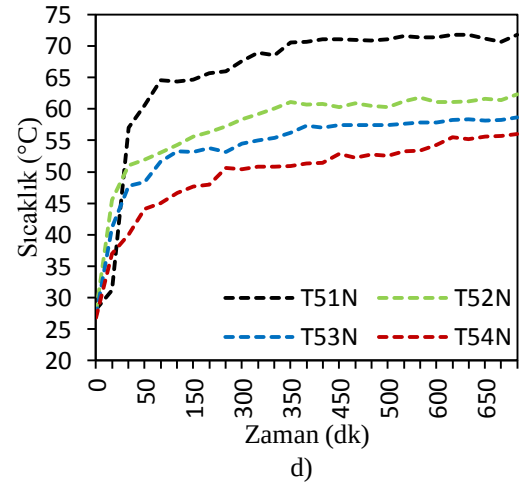
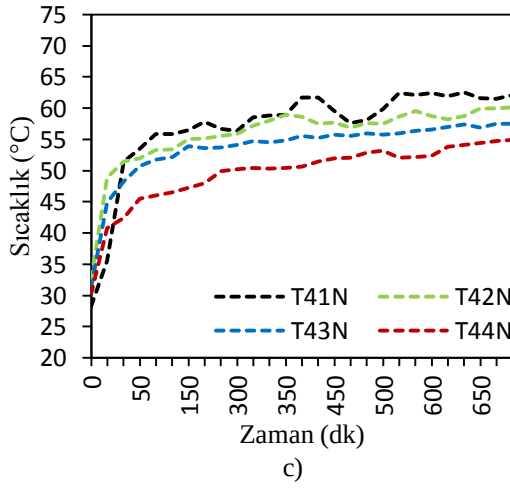
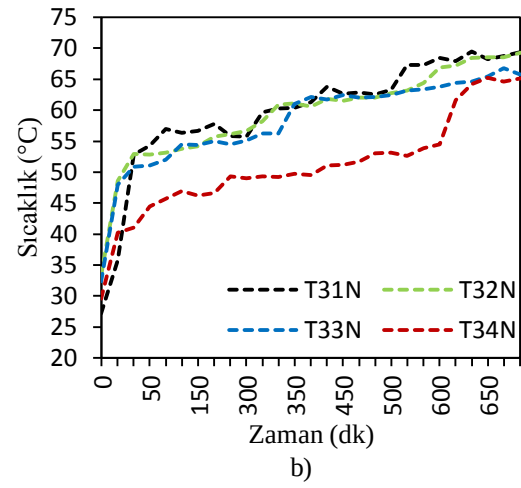
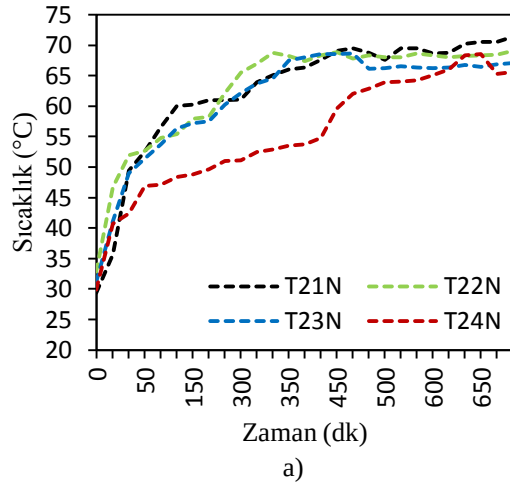




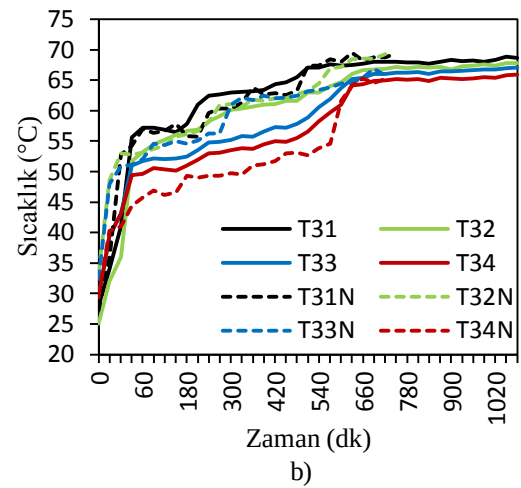
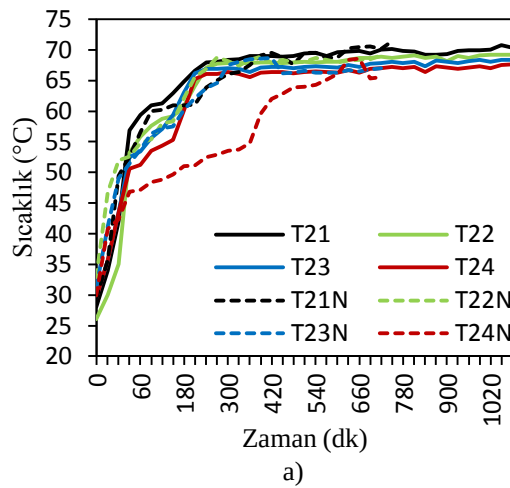
Şekil B.8. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

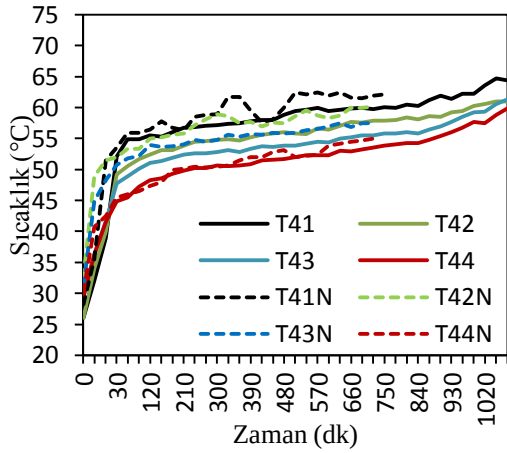


Şekil B.9. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

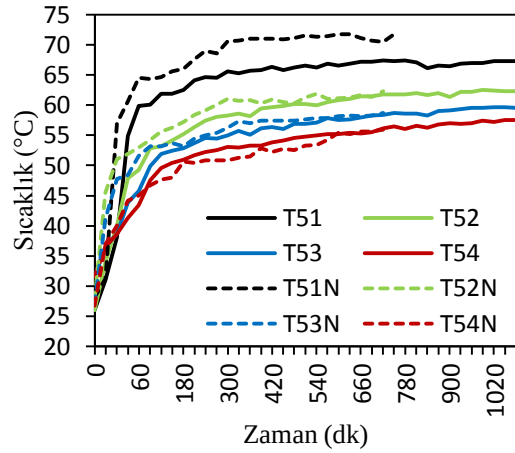


Şekil B.10. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



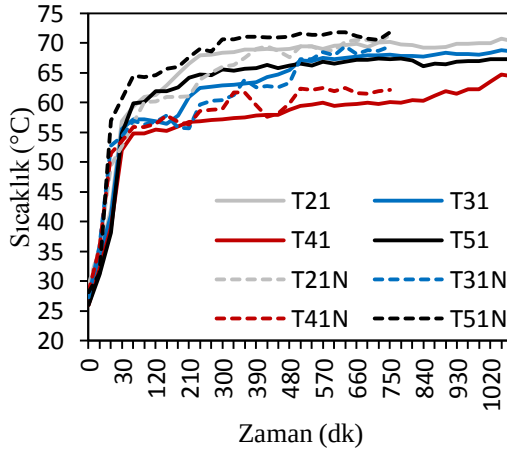


c)

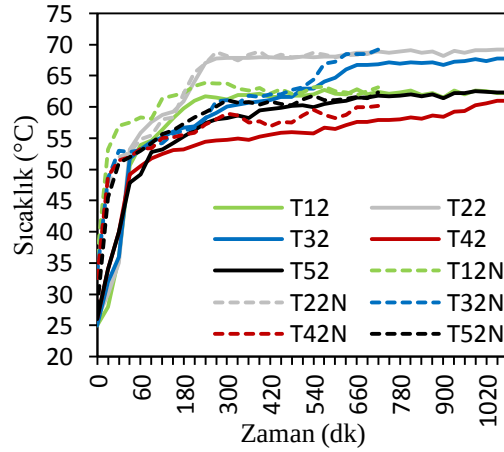


d)

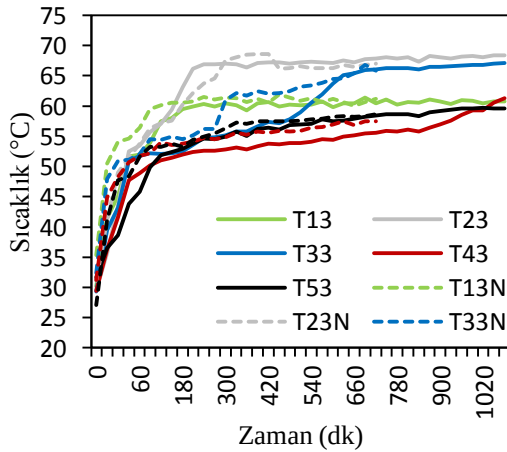
Şekil B.11. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 75^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



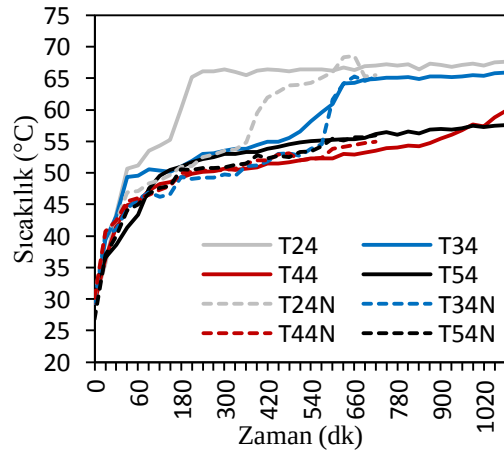
a)



b)

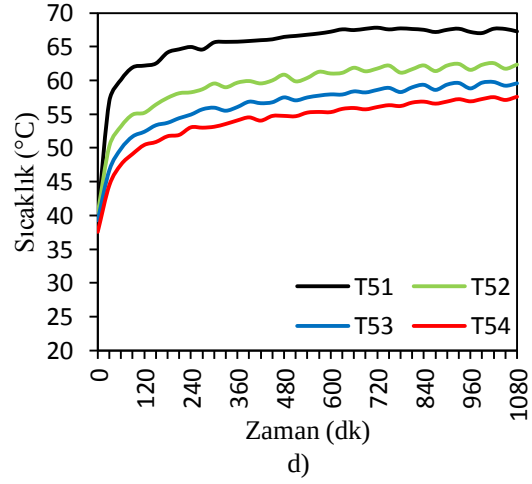
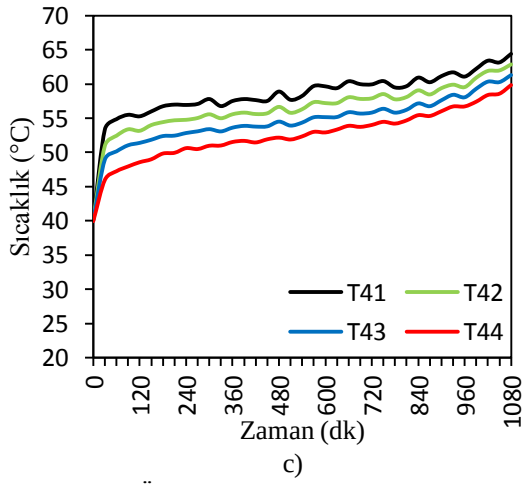
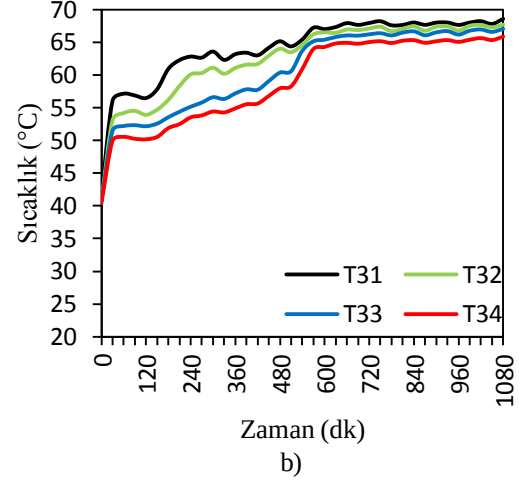
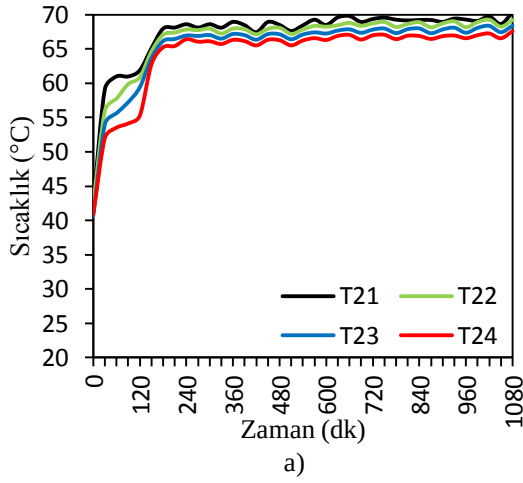


c)

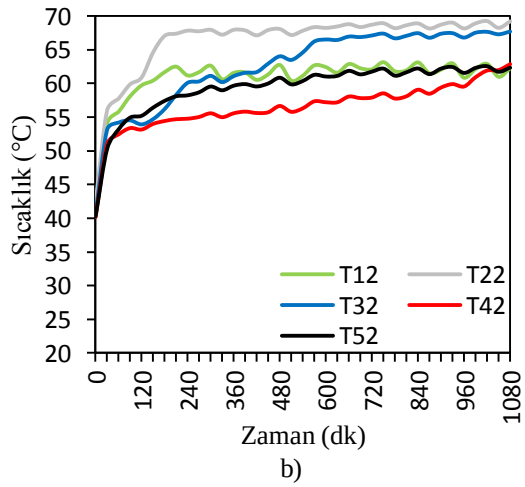
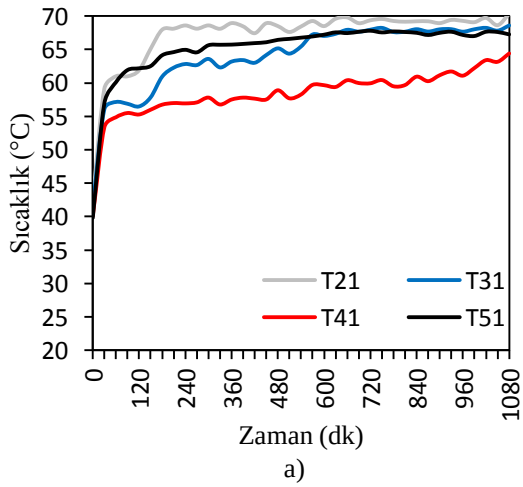


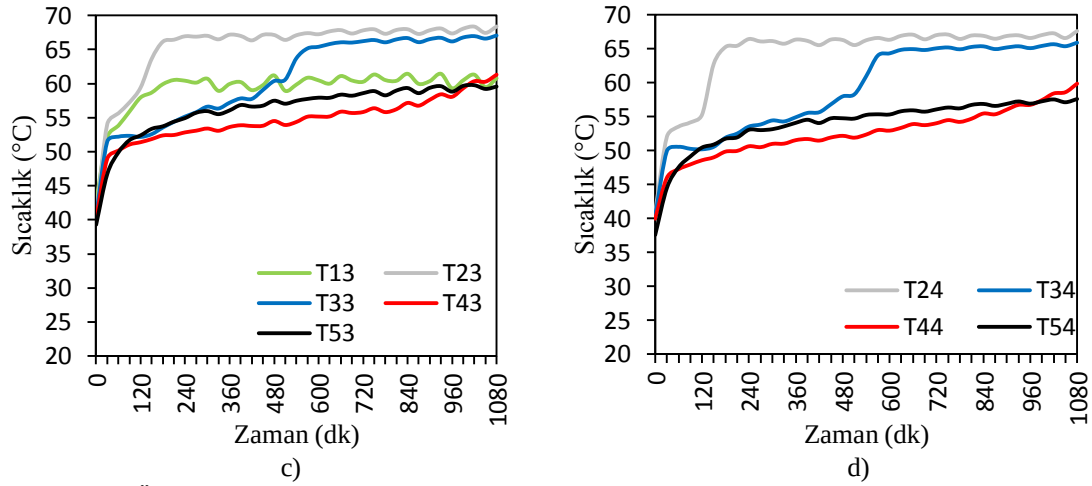
d)

Şekil B.12. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 75^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

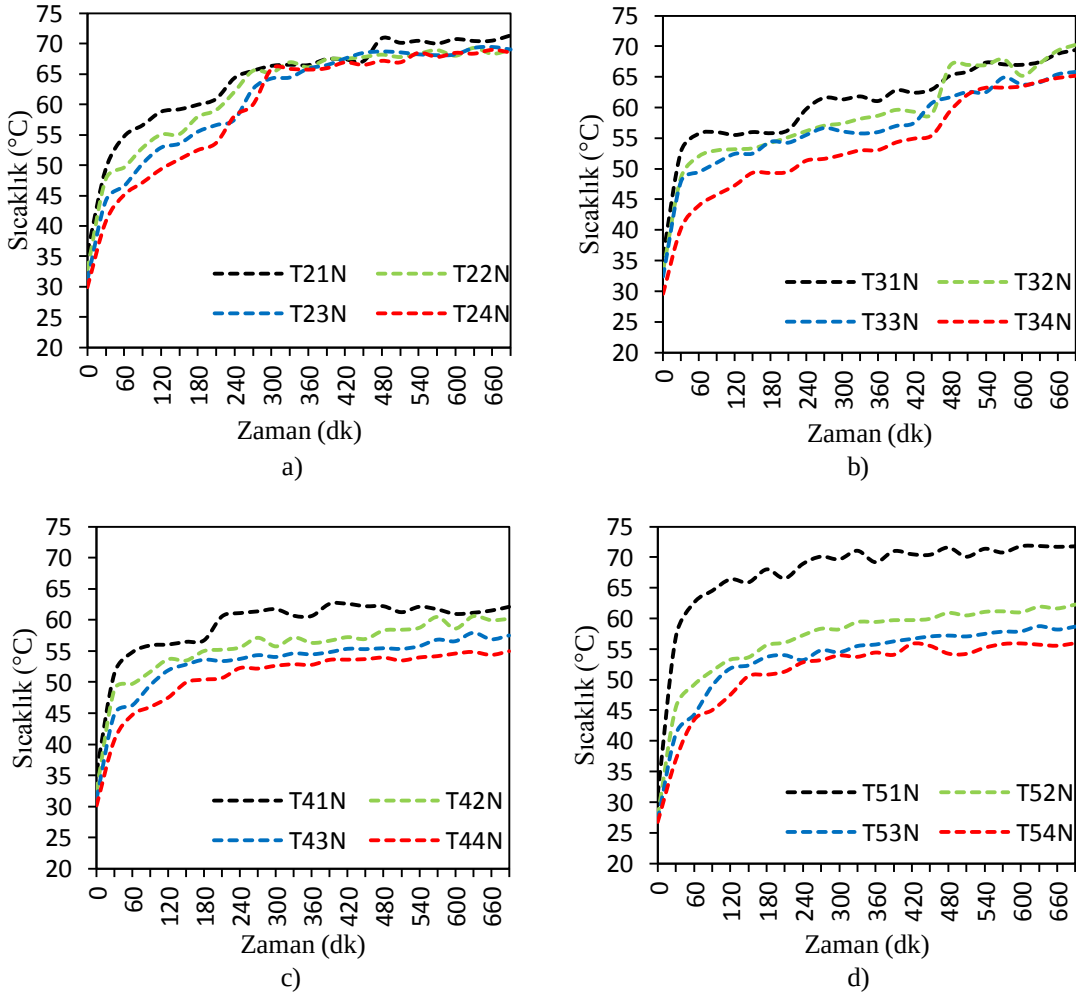


Şekil B.13. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

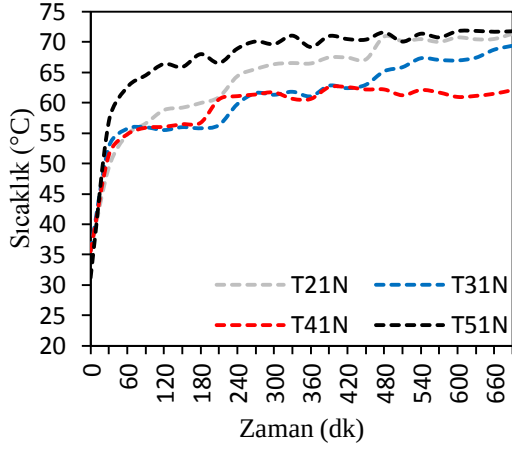




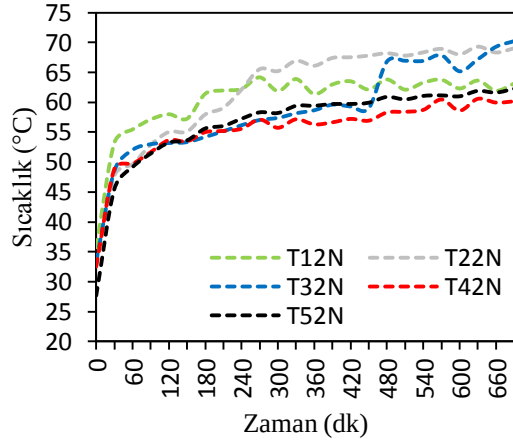
Şekil B.14. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



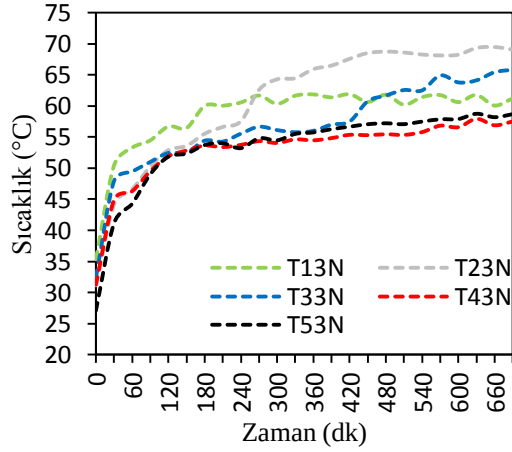
Şekil B.15. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



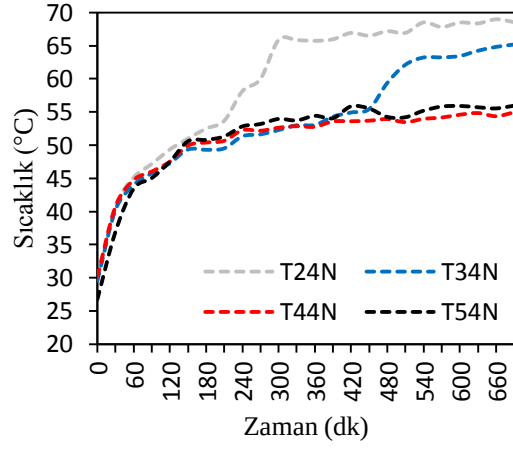
a)



b)

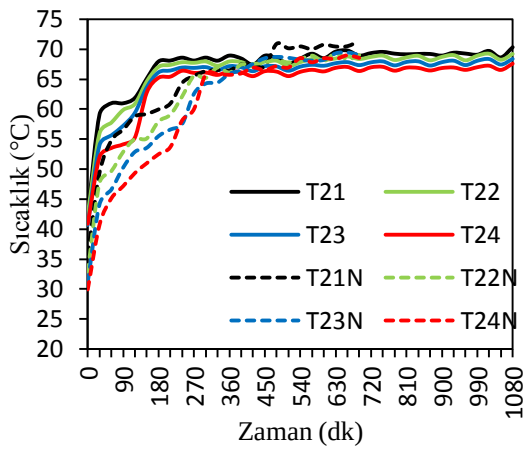


c)

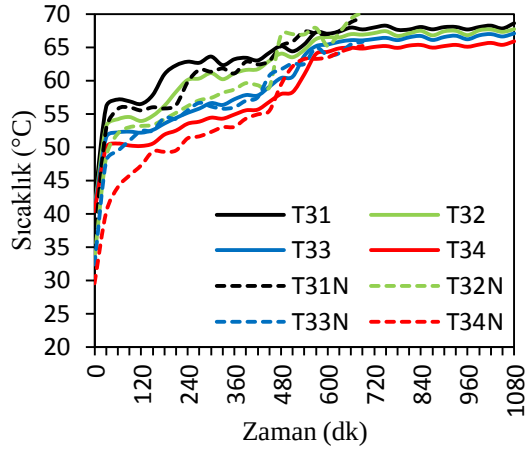


d)

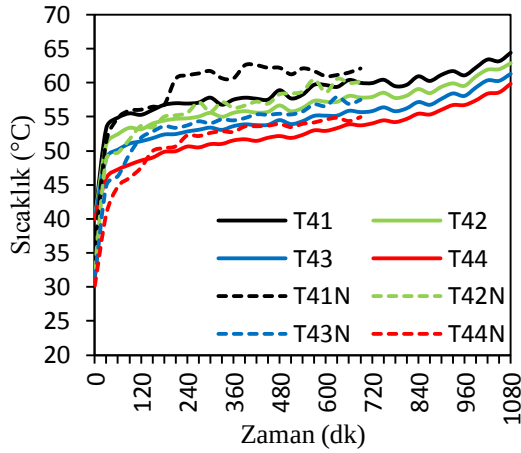
Şekil B.16. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 75\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



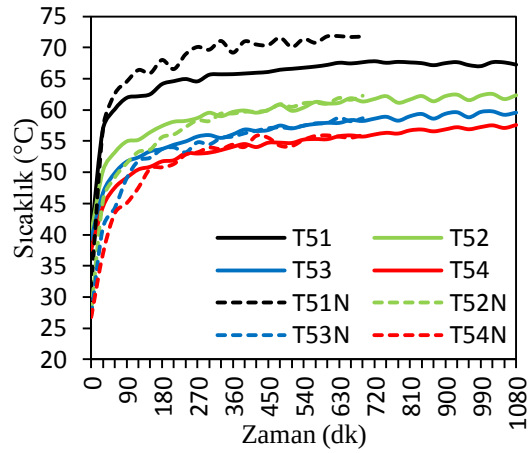
a)



b)

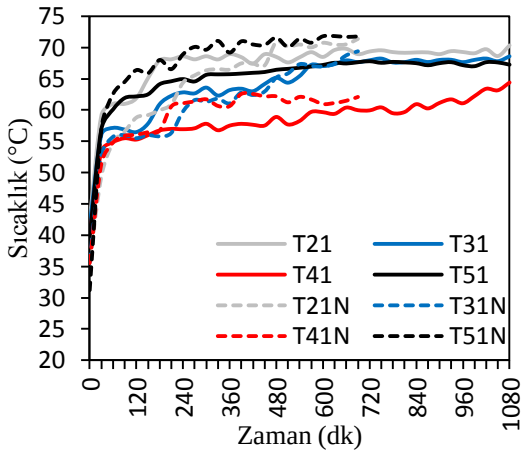


c)

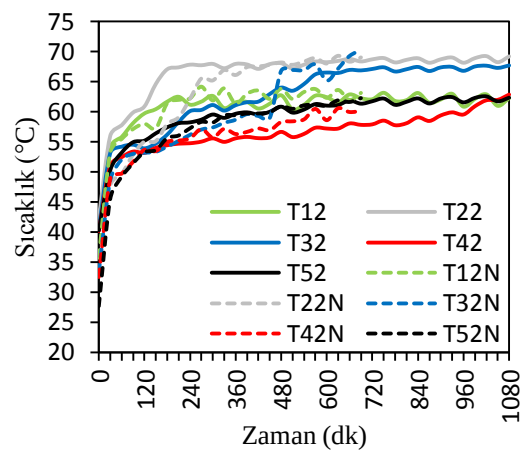


d)

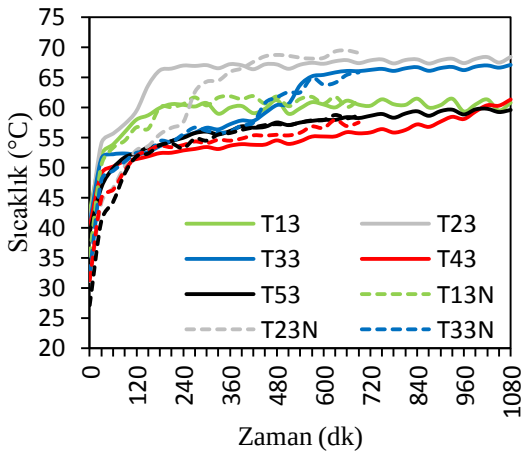
Şekil B.17. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 75^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



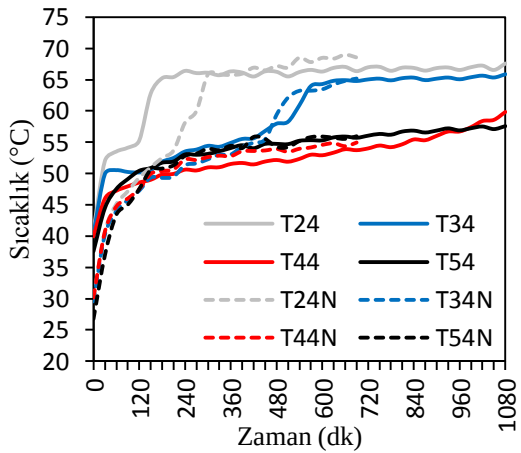
a)



b)

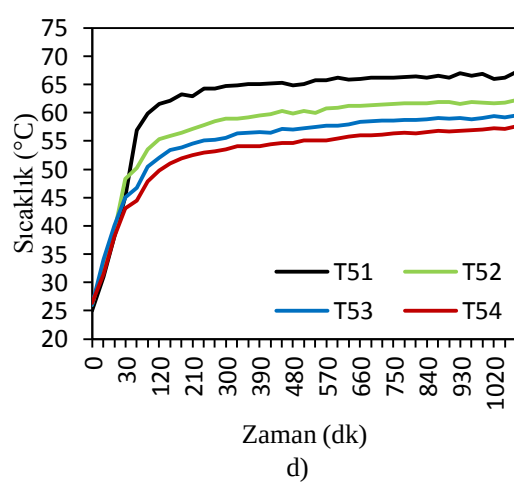
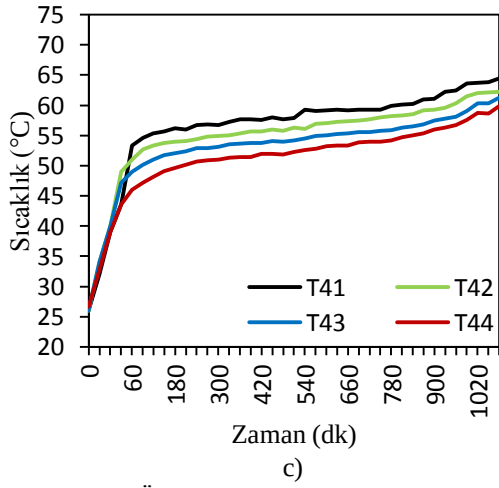
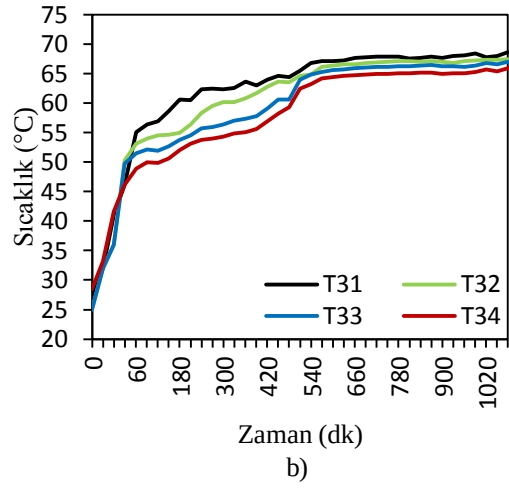
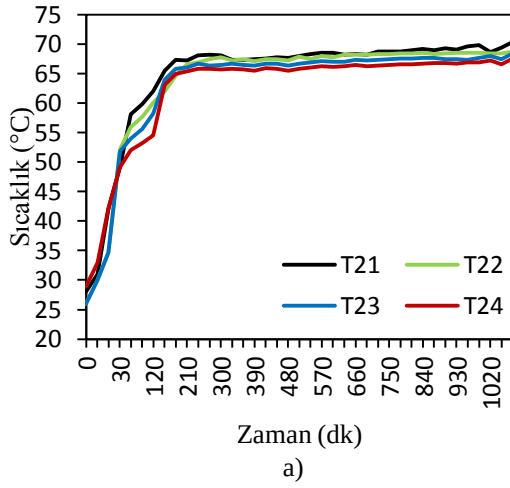


c)

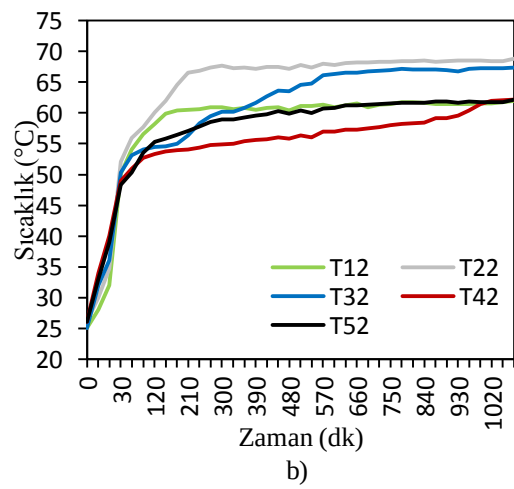
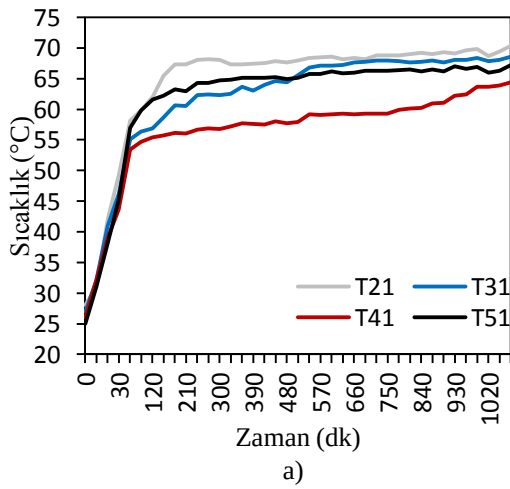


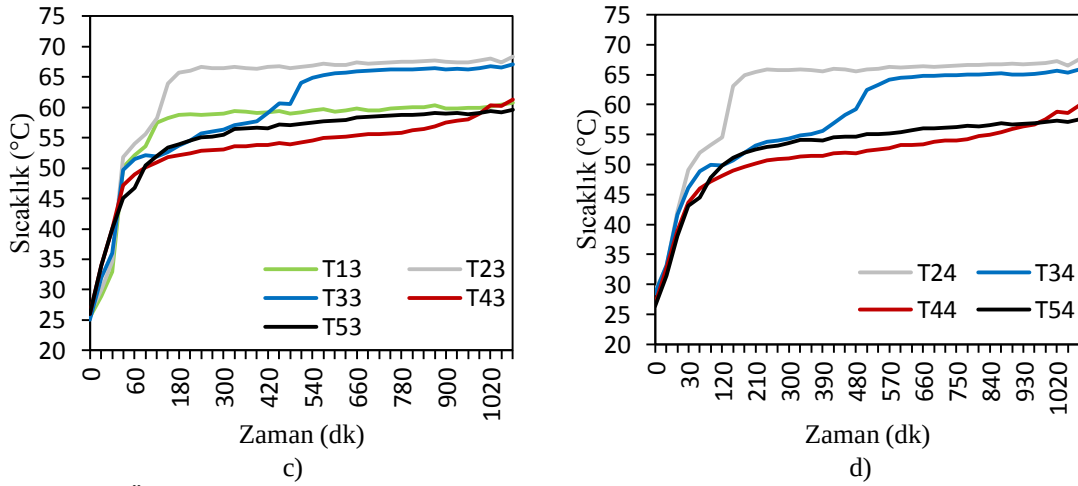
d)

Şekil B.18. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 75^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

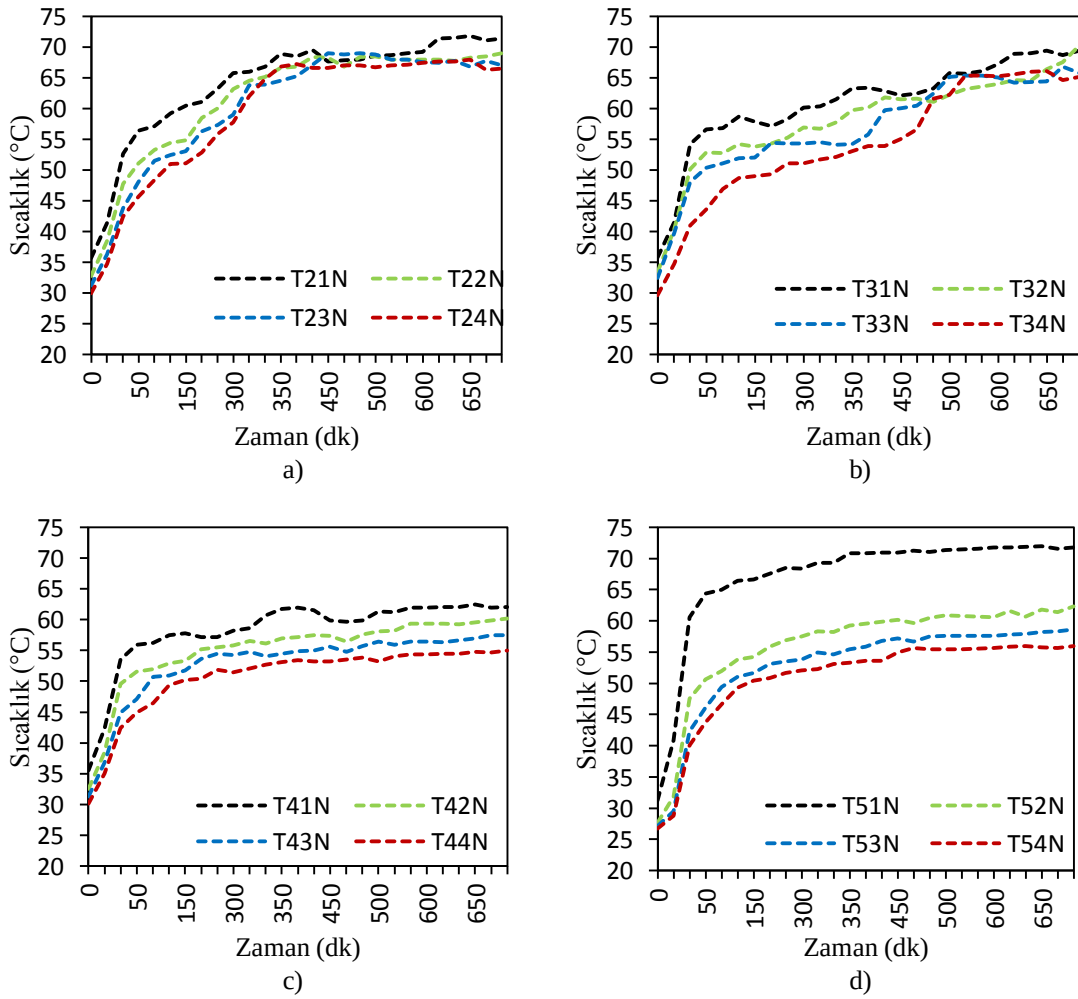


Şekil B.19. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

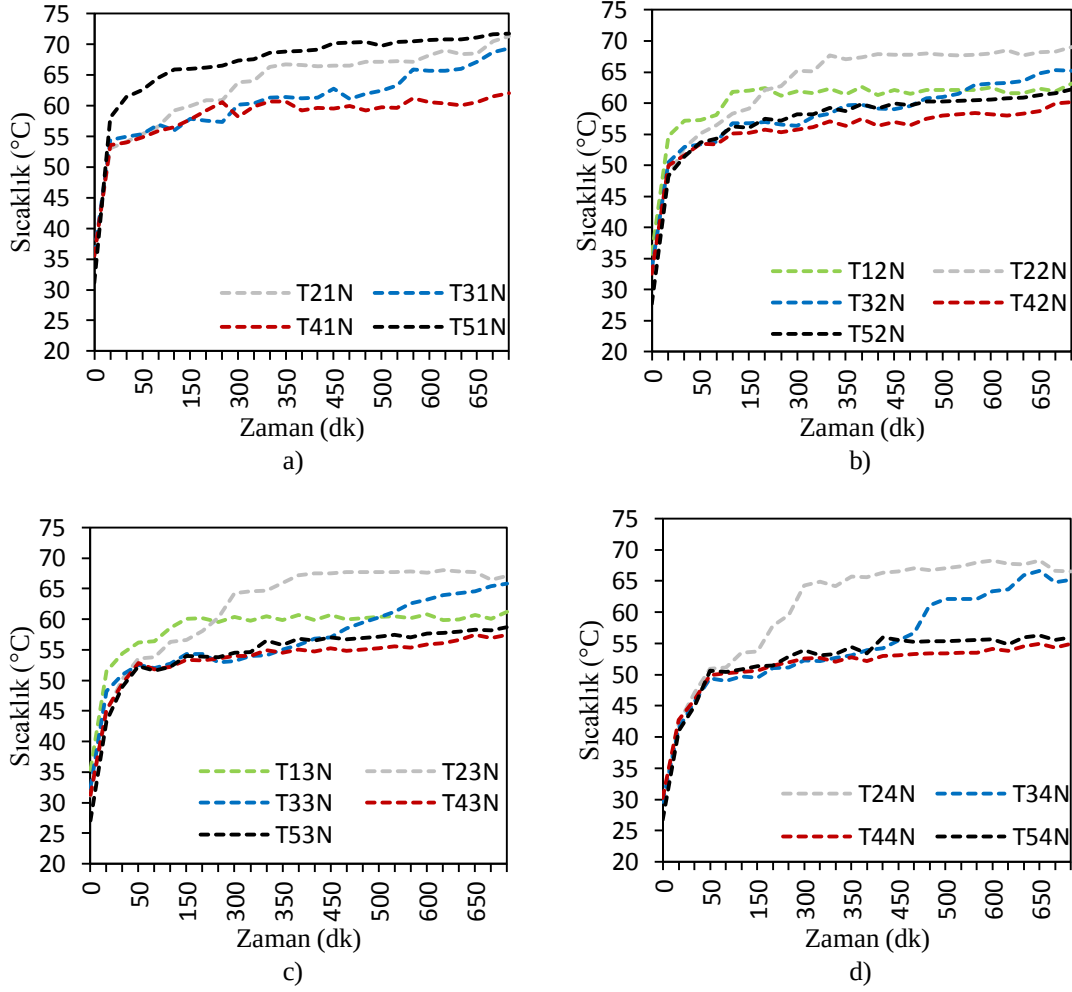




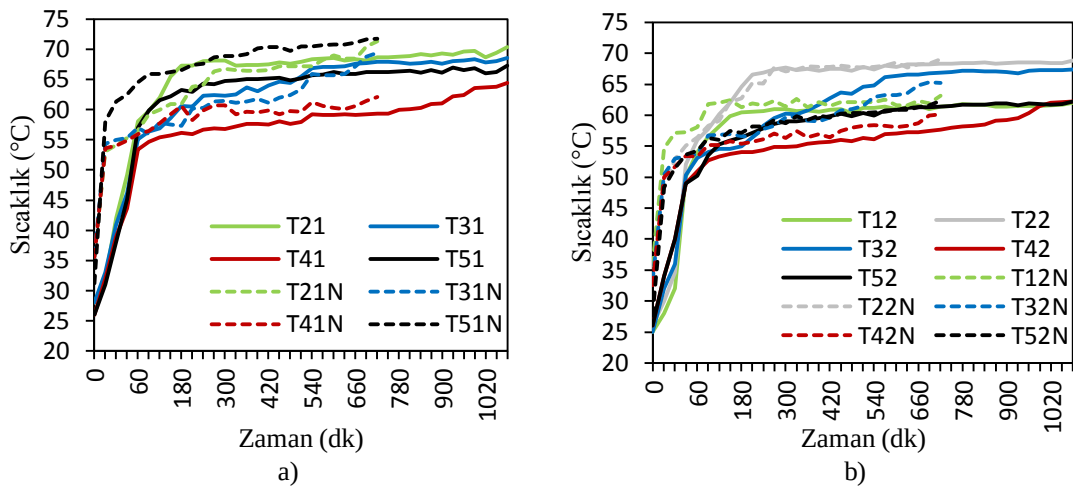
Şekil B.20. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

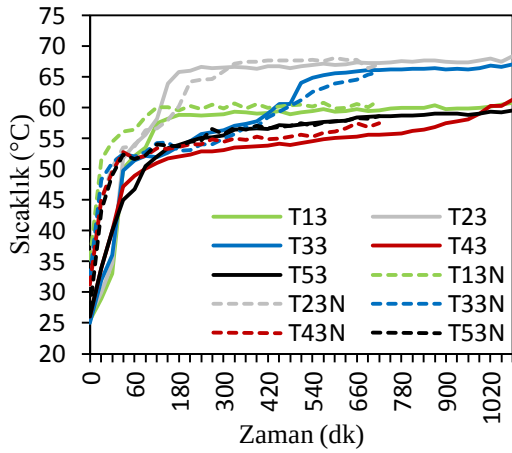


Şekil B.21. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 73\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

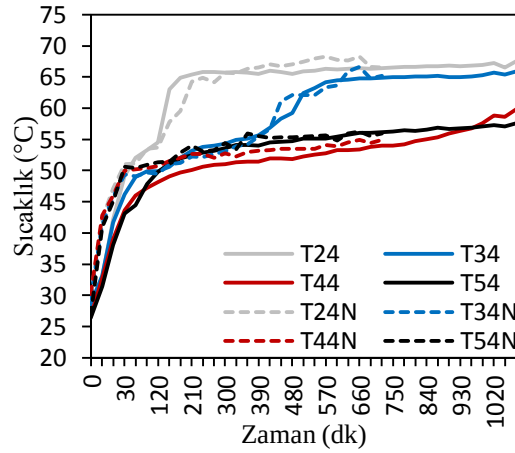


Şekil B.22. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalarındaki ısıt çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 73^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısıt çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısıt çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısıt çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısıt çiftinin sıcaklık değişimi,



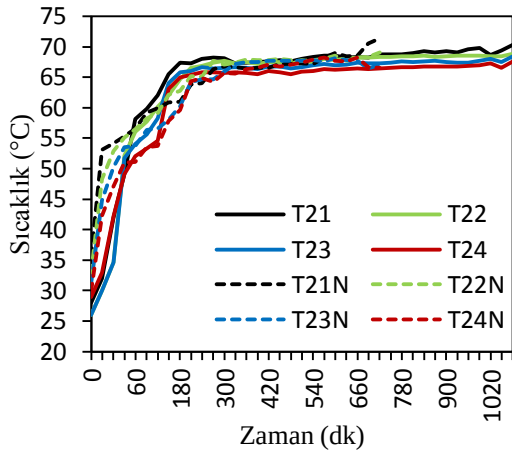


c)

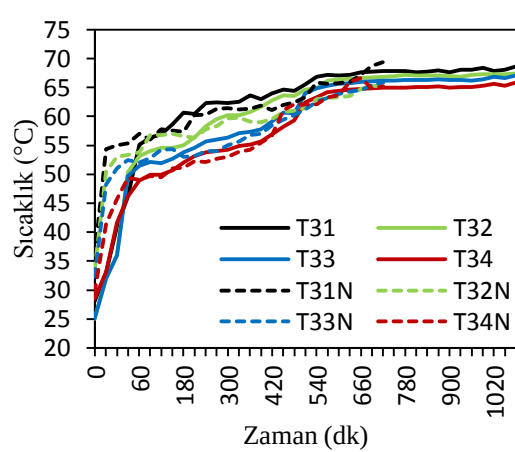


d)

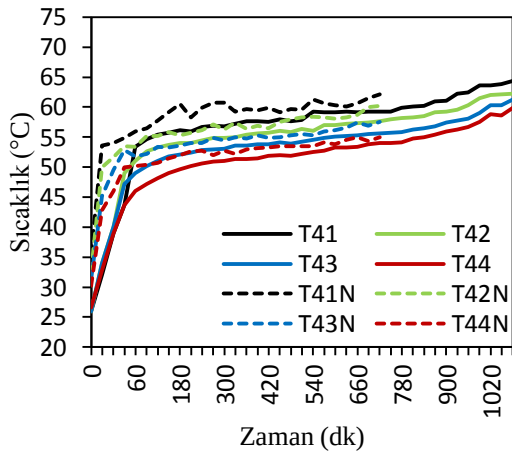
Şekil B.23. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 73 \text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 1'olu ısı çiftin sıcaklık değişimi, b) 2'olu ısı çiftin sıcaklık değişimi, c) 3'olu ısı çiftin sıcaklık değişimi, d) 4'olu ısı çiftin sıcaklık değişimi,



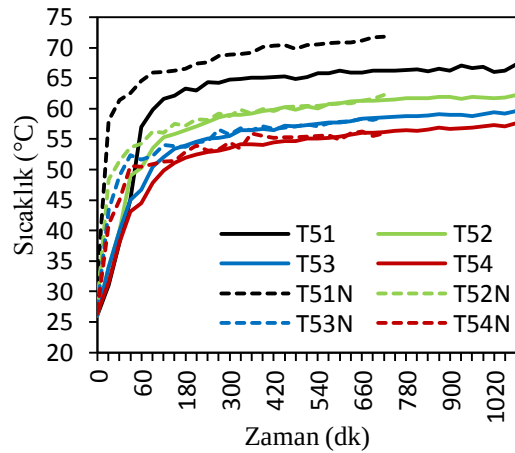
a)



b)

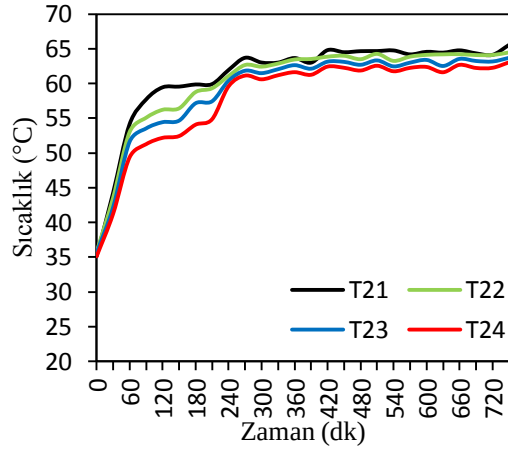


c)

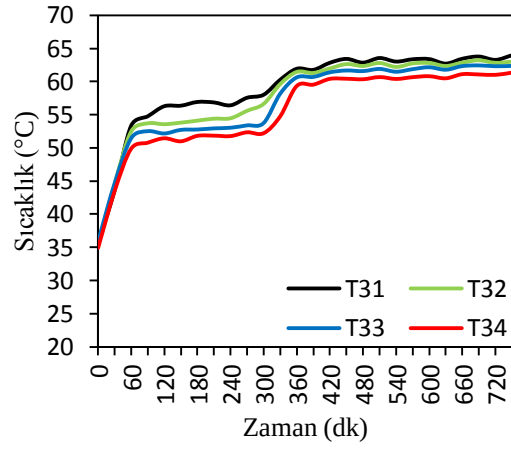


d)

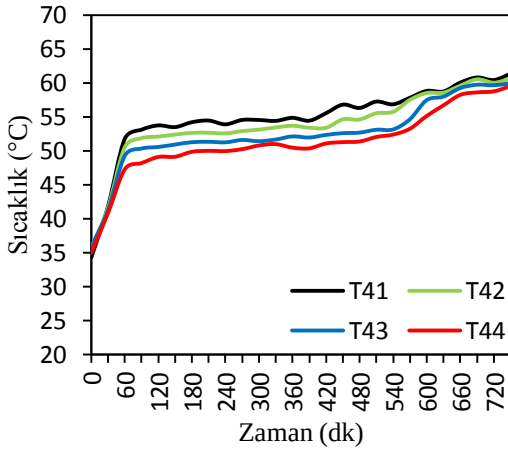
Şekil B.24. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 73 \text{ }^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 2'olu ısı çiftin sıcaklık değişimi, b) 3'olu ısı çiftin sıcaklık değişimi, c) 4'olu ısı çiftin sıcaklık değişimi, d) 5'olu ısı çiftin sıcaklık değişimi,



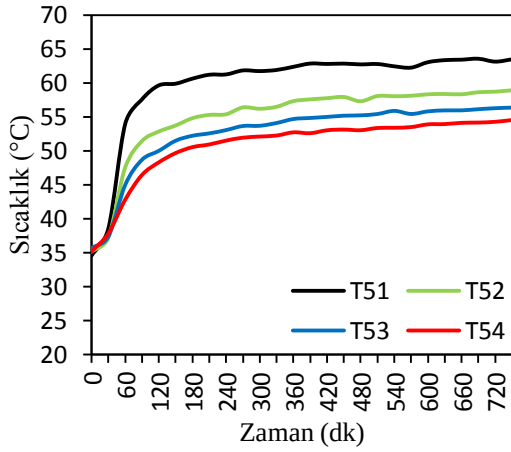
a)



b)

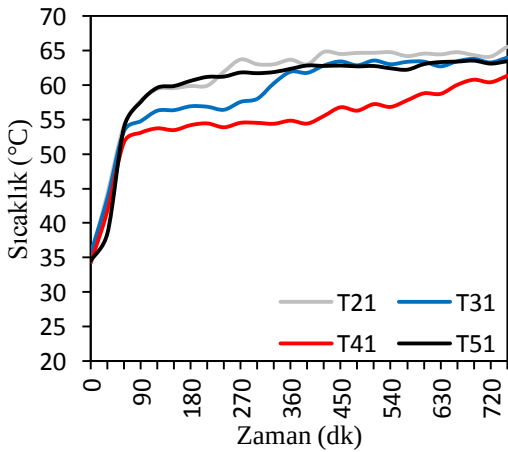


c)

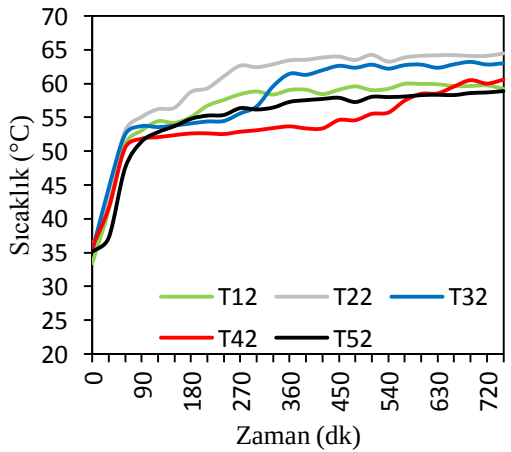


d)

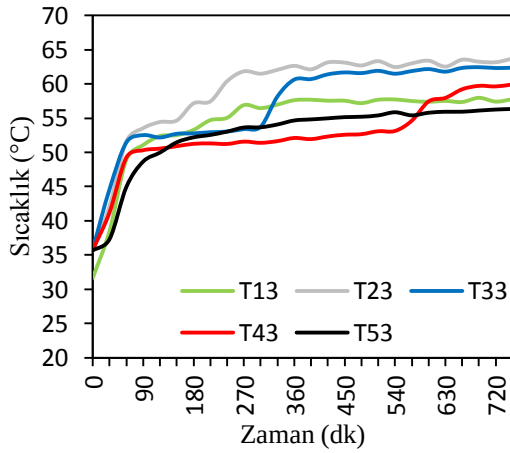
Şekil B.25. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



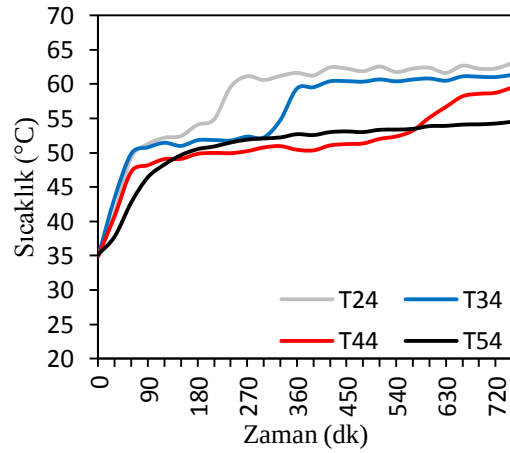
a)



b)

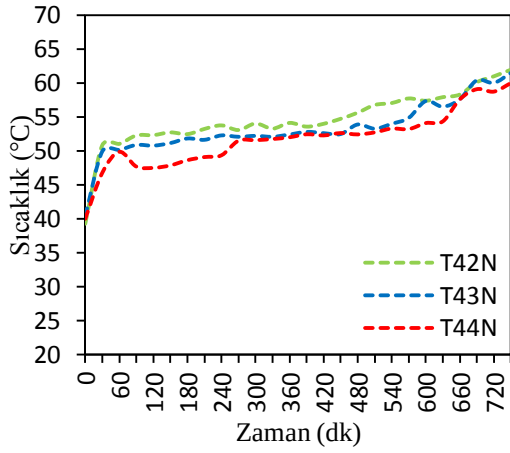


c)

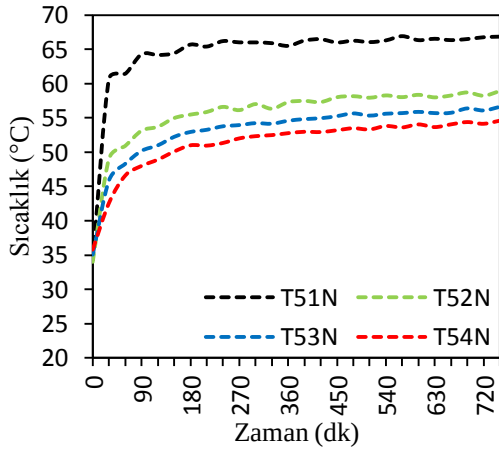


d)

Şekil B.26. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

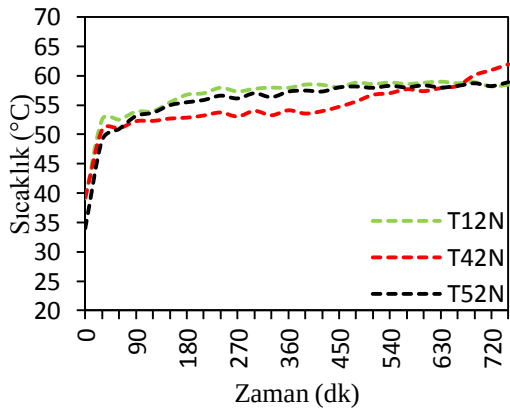


a)

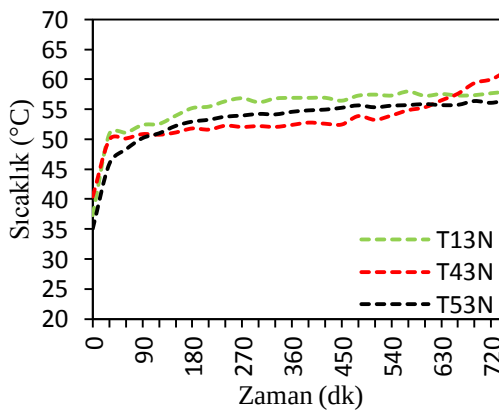


b)

Şekil B.27. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

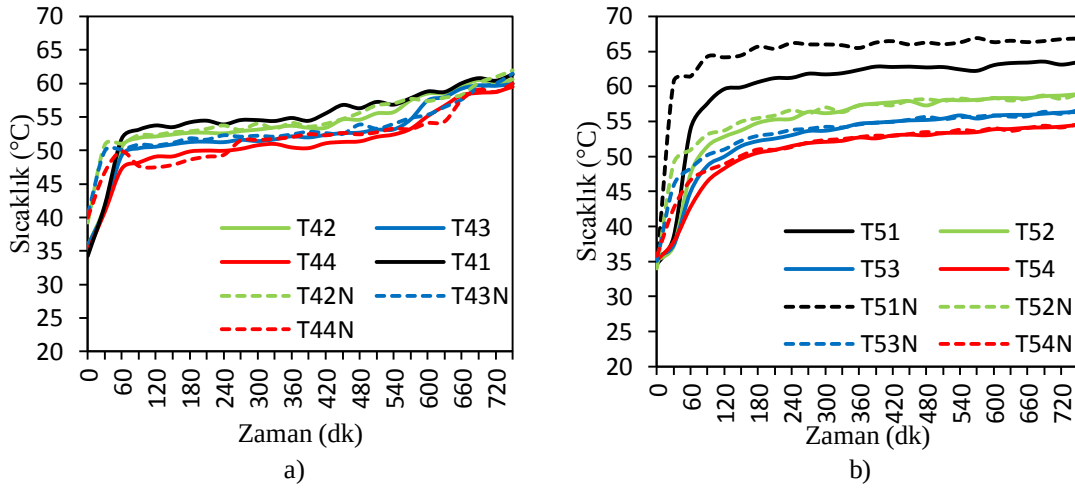


a)

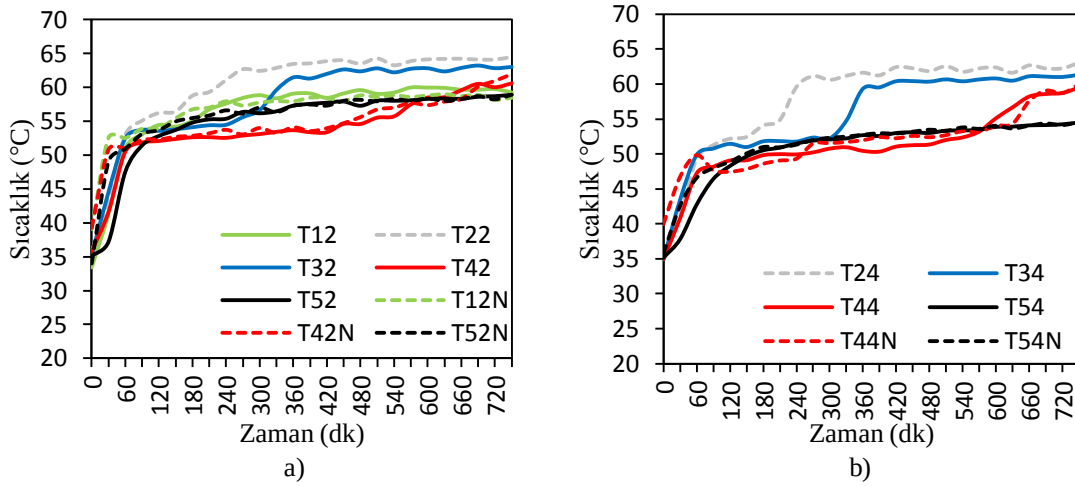


b)

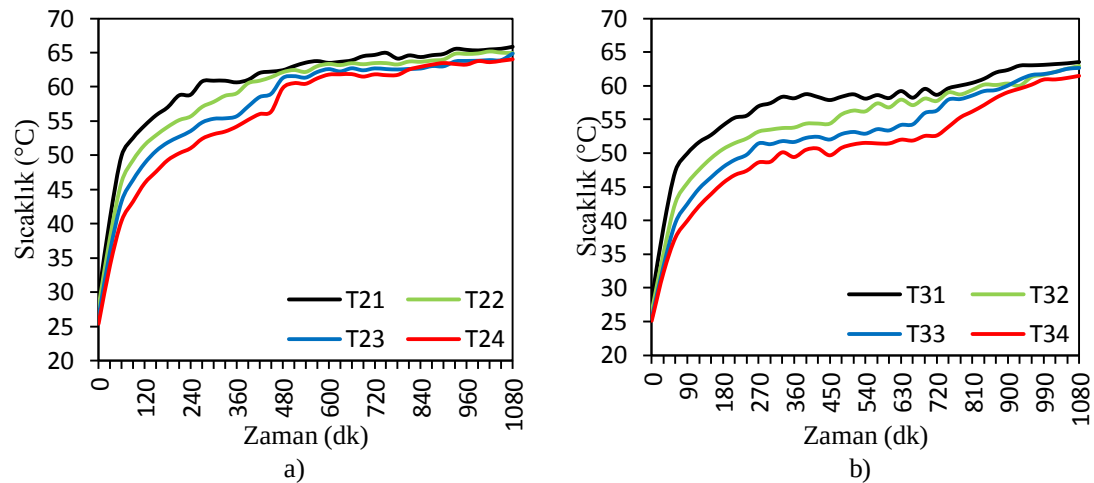
Şekil B.28. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

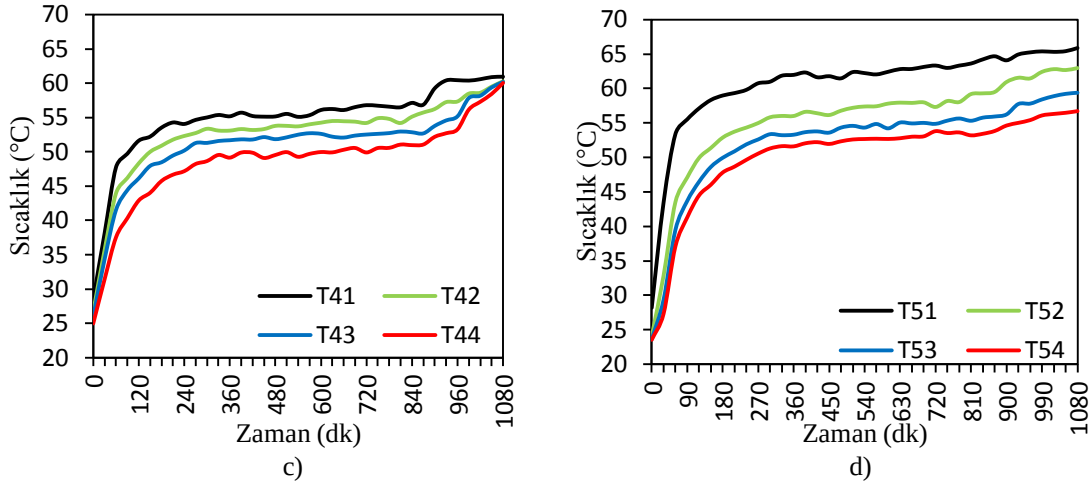


Şekil B.29. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 4'ncü ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 5'inci ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

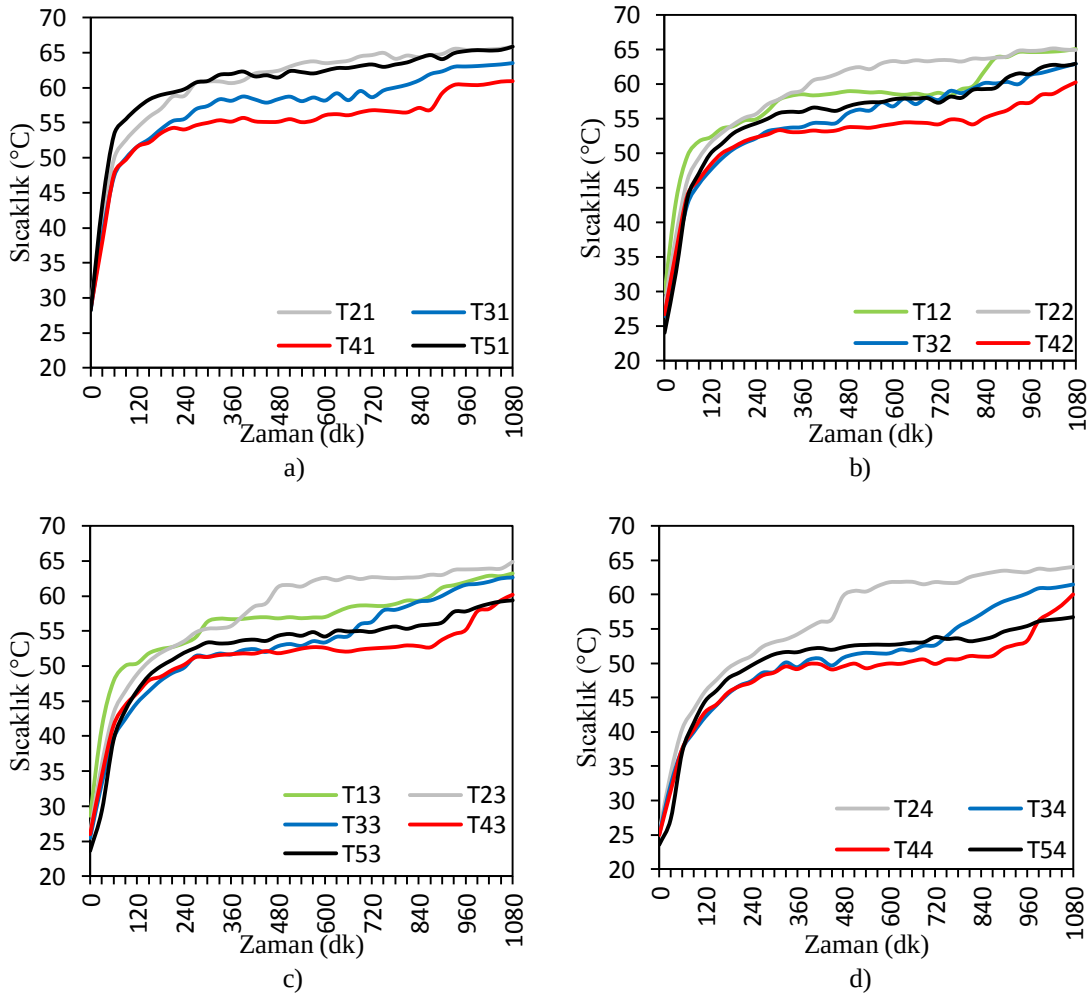


Şekil B.30. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'ncü ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 4'ncü ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

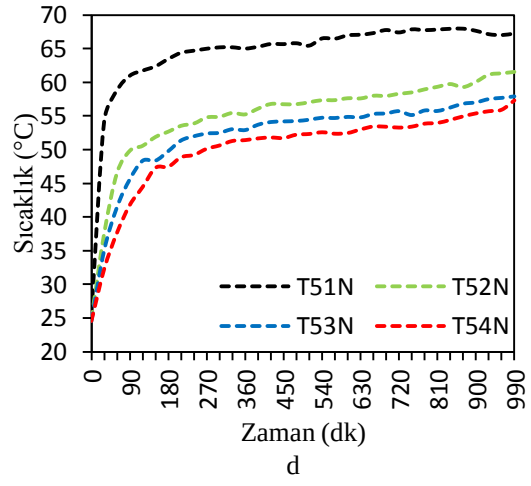
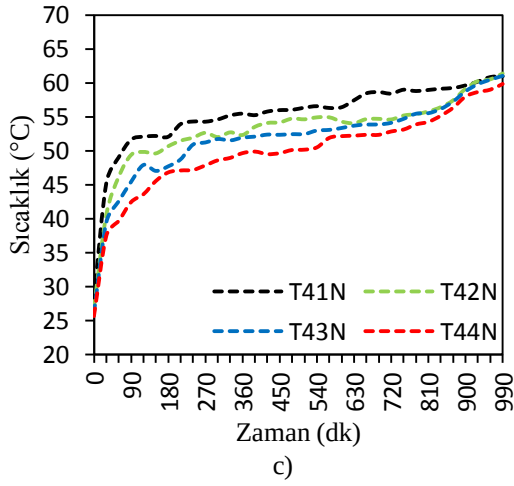
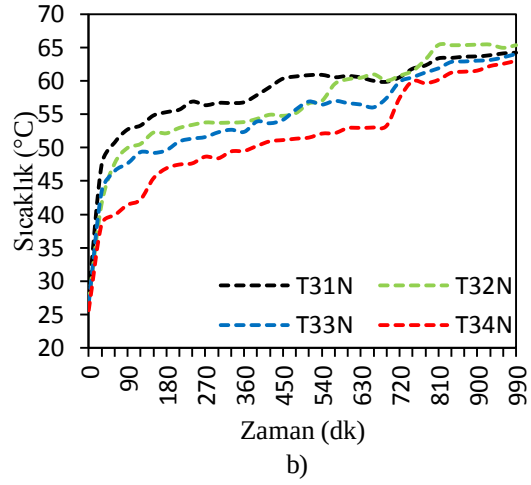
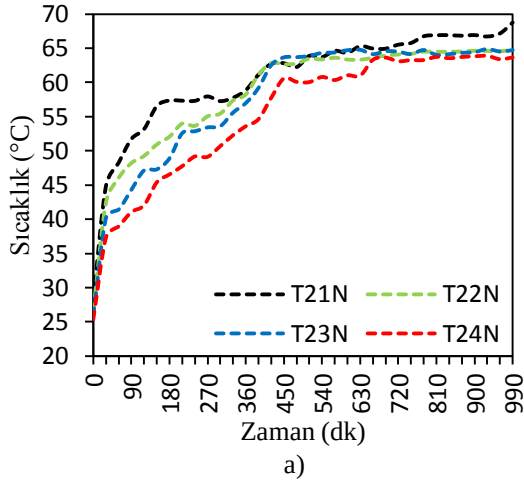




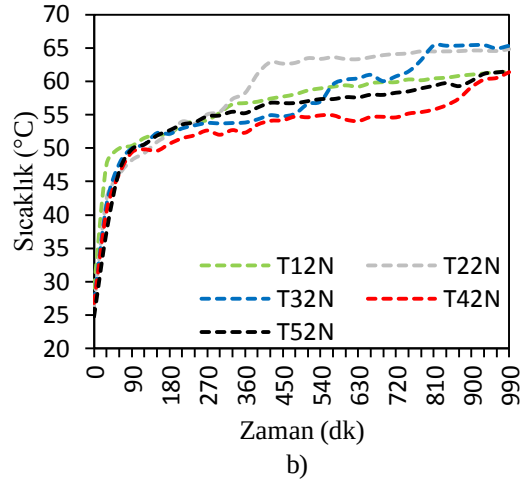
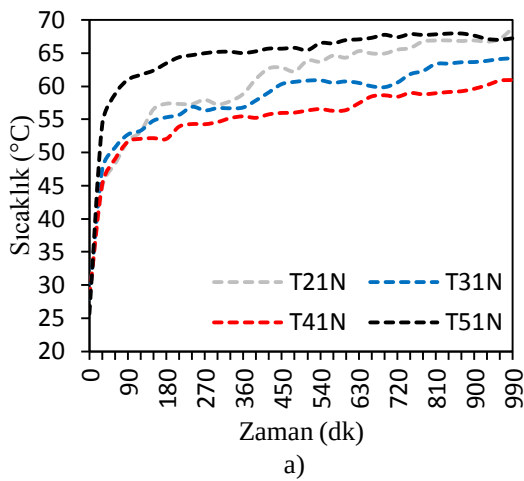
Şekil B.31. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ °C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

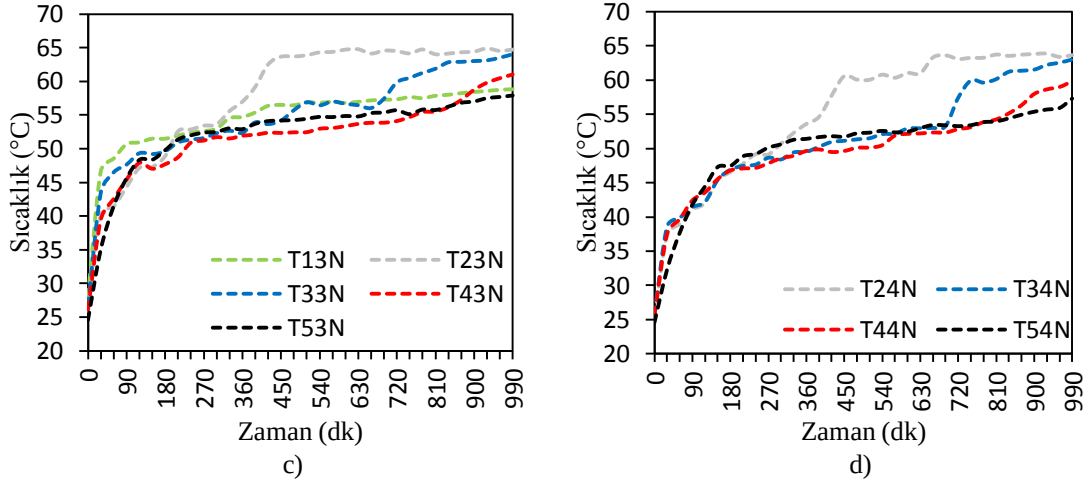


Şekil B.32. Ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ °C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

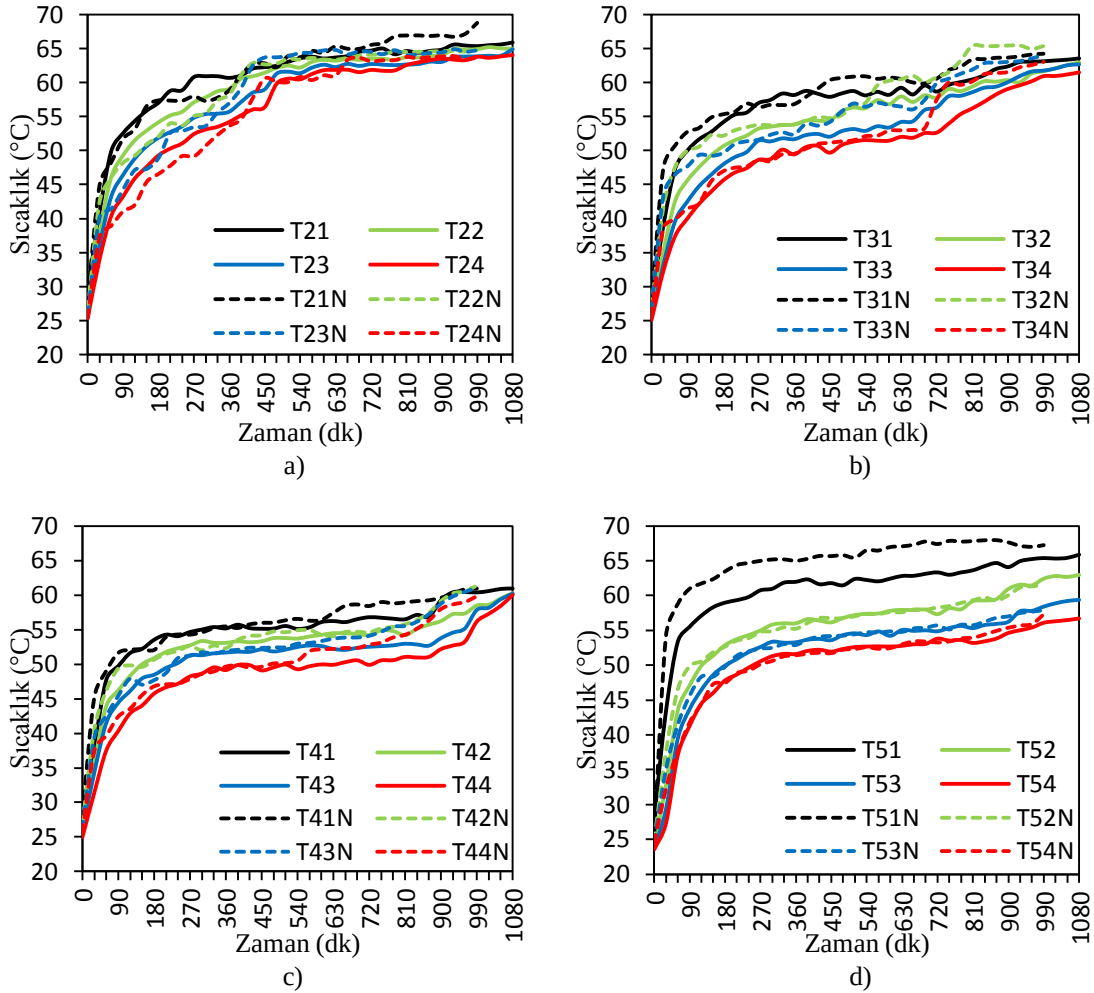


Şekil B.33. NPKFDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ °C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

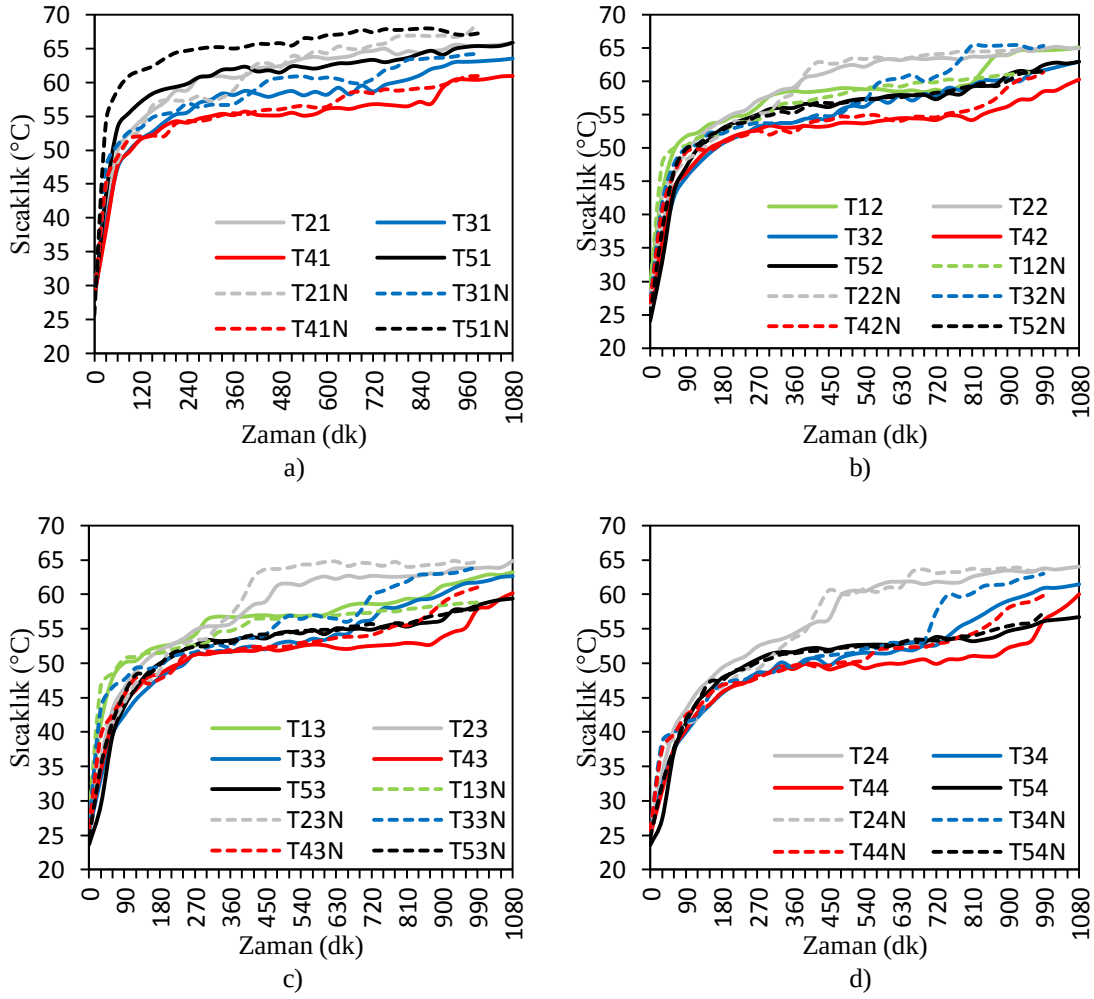




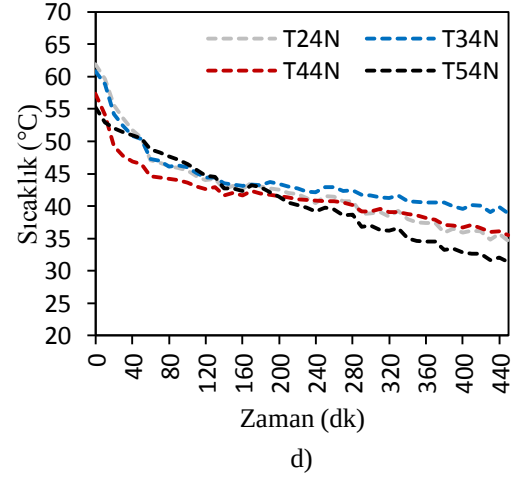
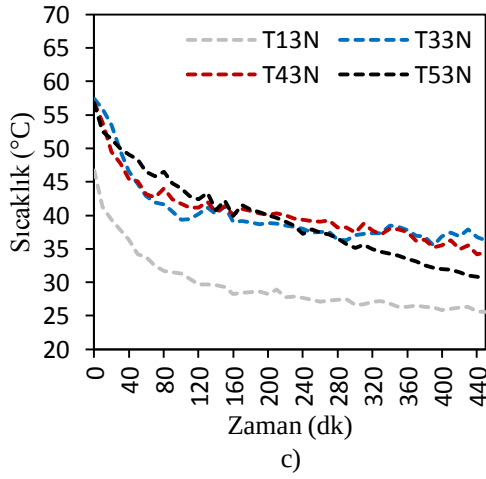
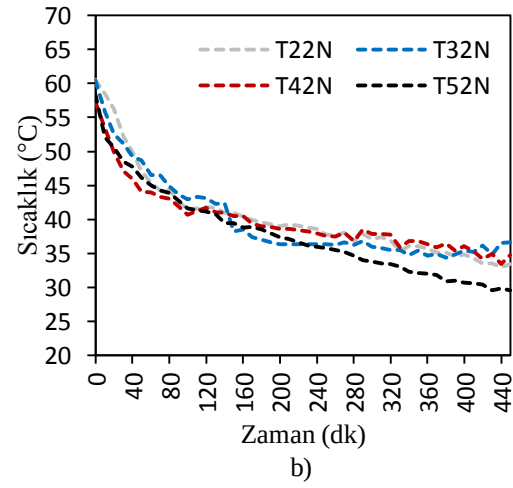
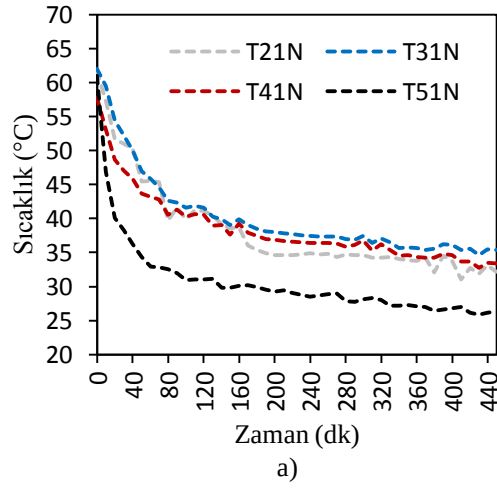
Şekil B.34. NPKFDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



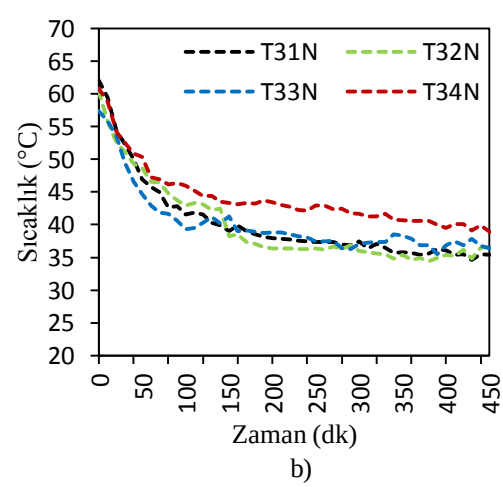
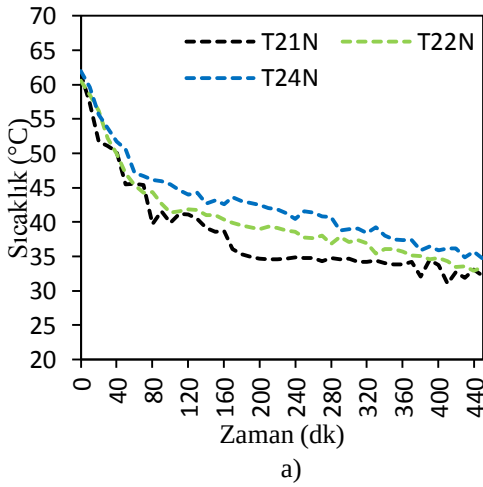
Şekil B.35. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

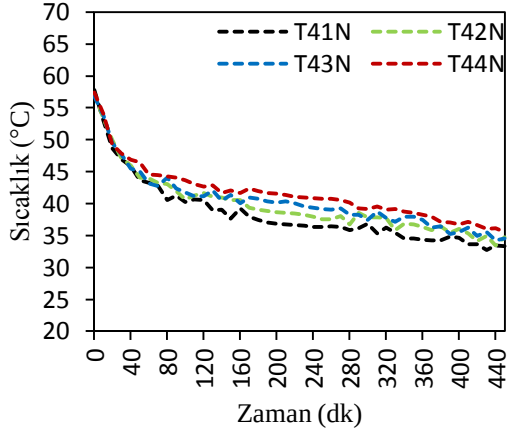


Şekil B.36. NPKFDM ve ötektik FDM'nin erime süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişiminin kıyaslanması ($T_g = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 2\text{ kg/dk}$), a) 1'olu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

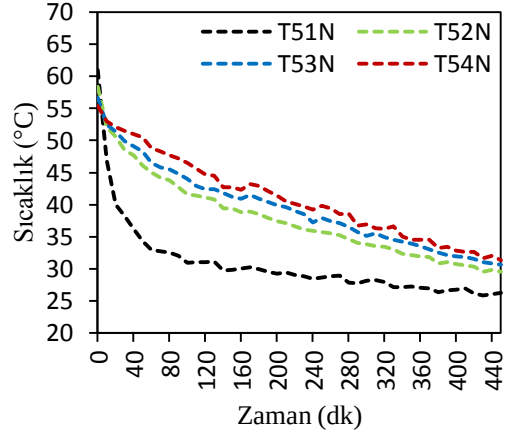


Şekil C.1. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



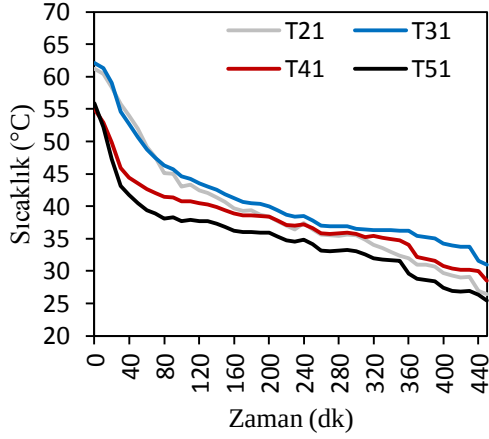


c)

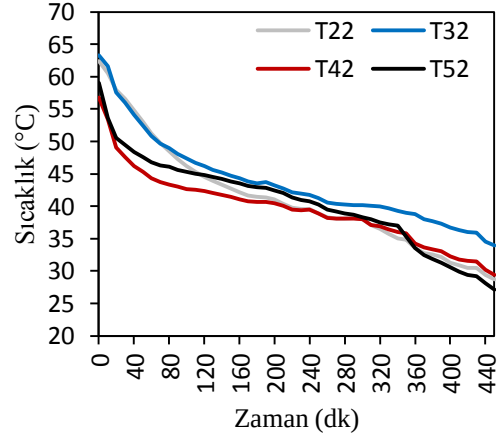


d)

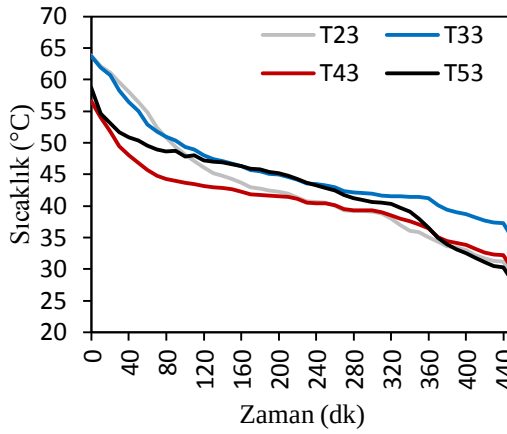
Şekil C.2.NKFDM'nin katılma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



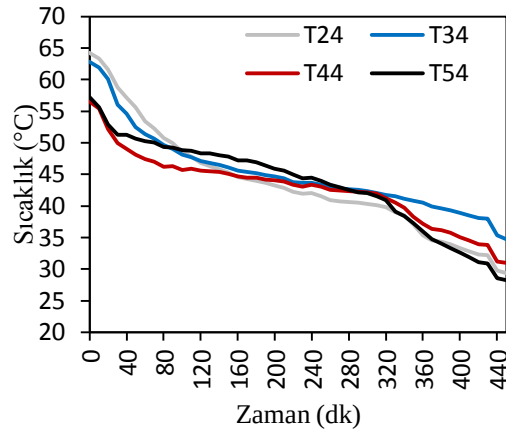
a)



b)

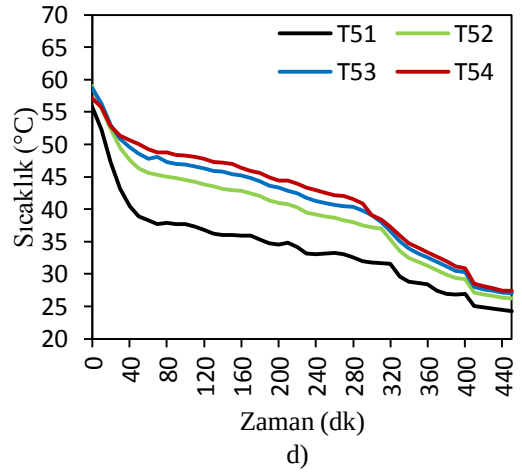
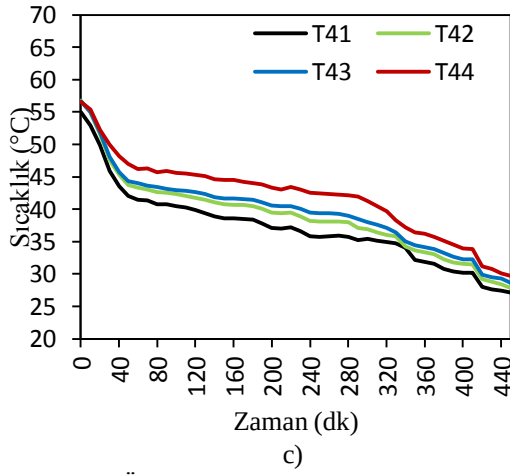
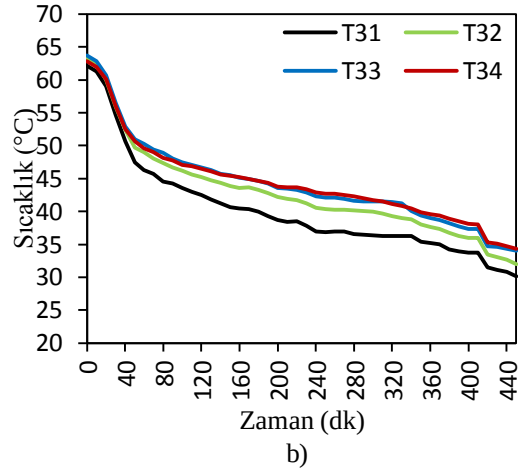
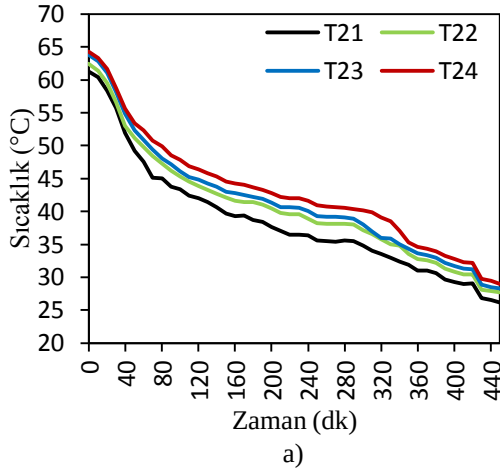


c)

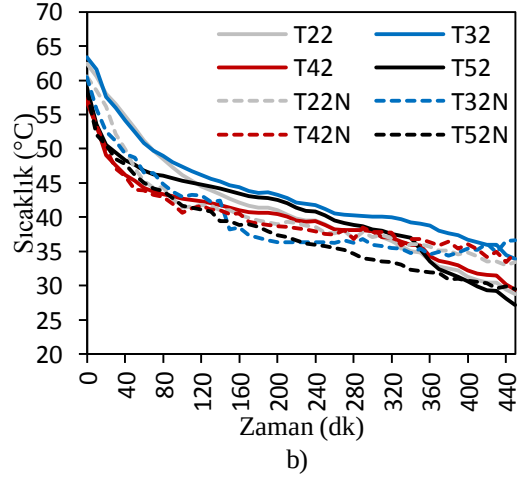
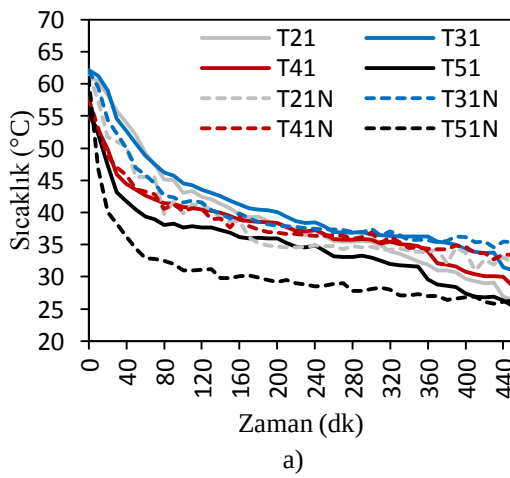


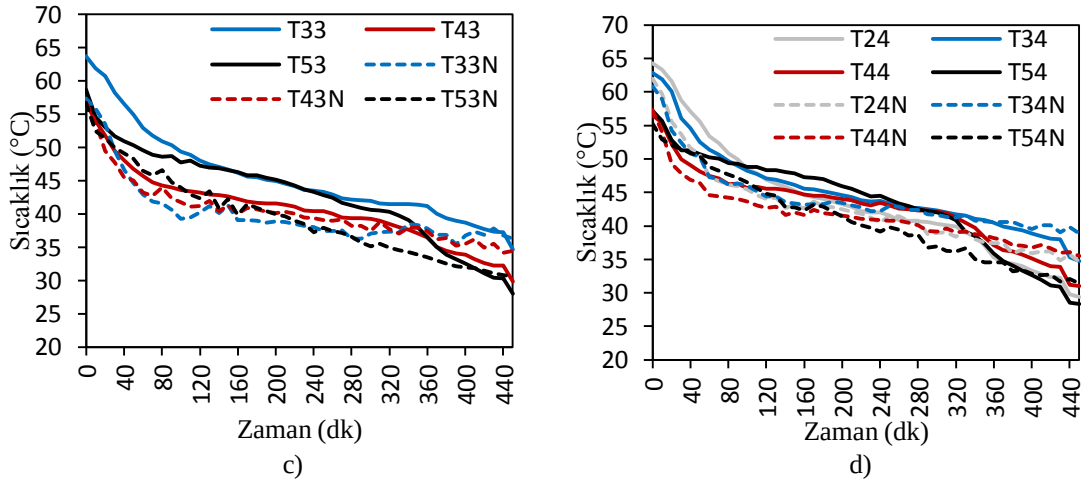
d)

Şekil C.3.Ötektik FDM'nin katılma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

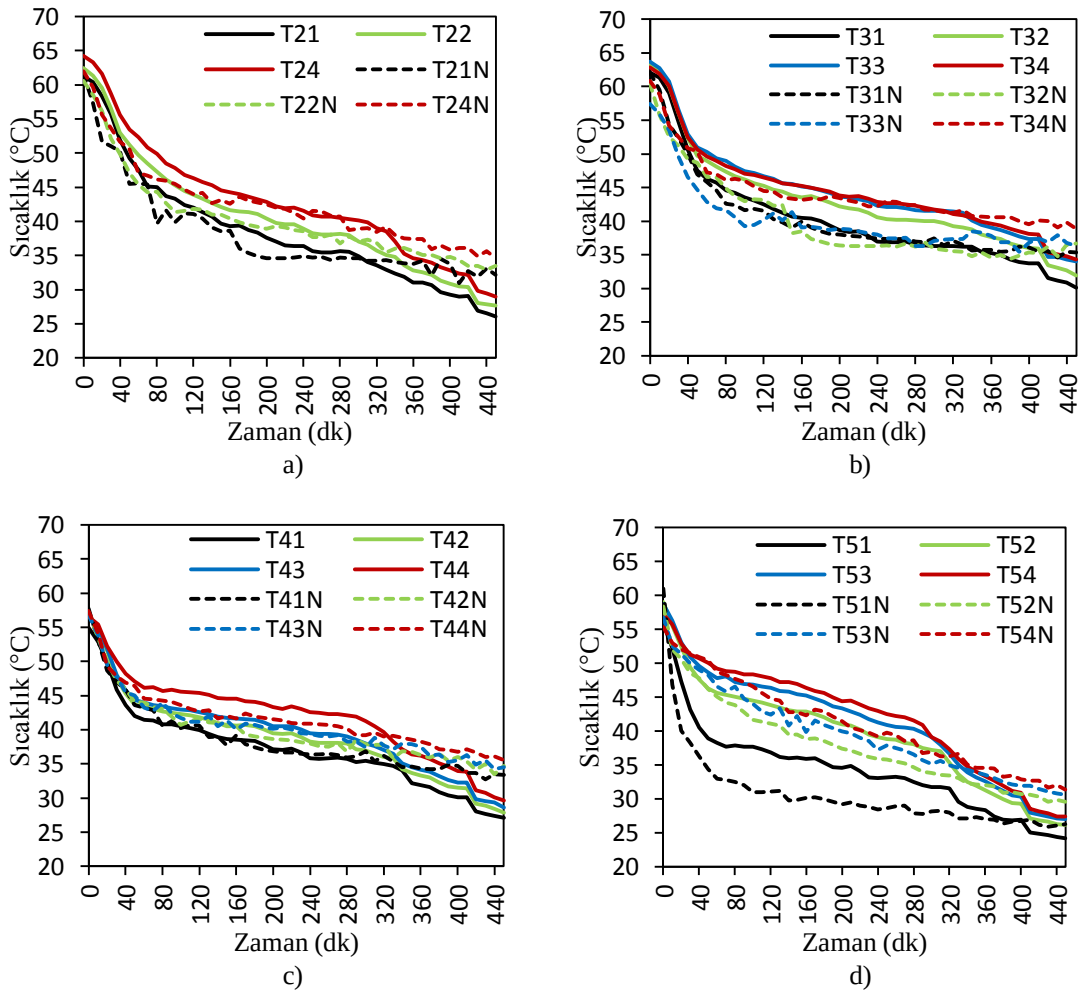


Şekil C.4. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ °C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

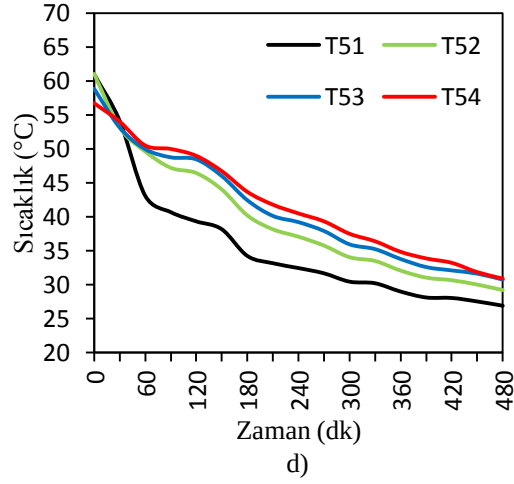
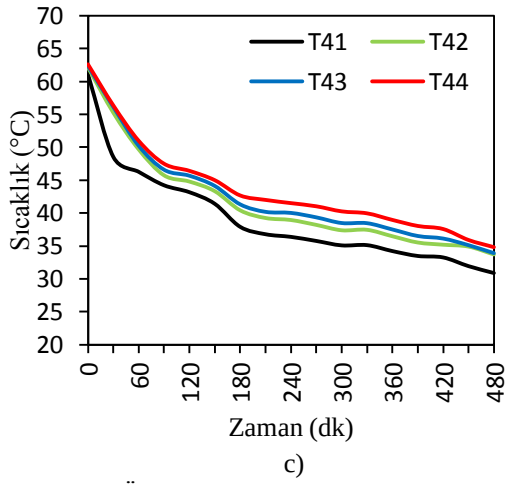
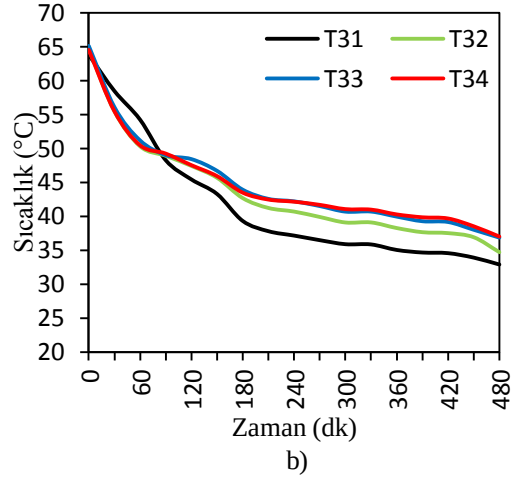
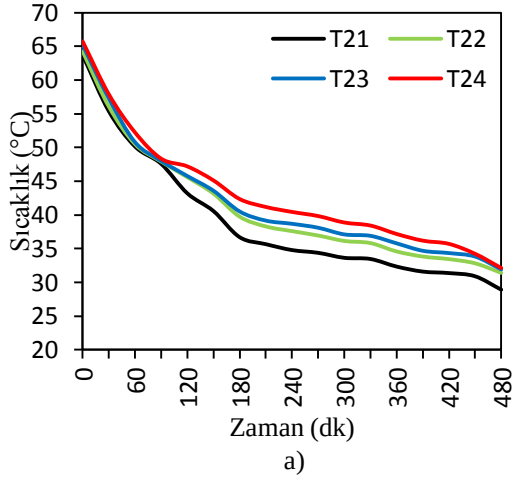




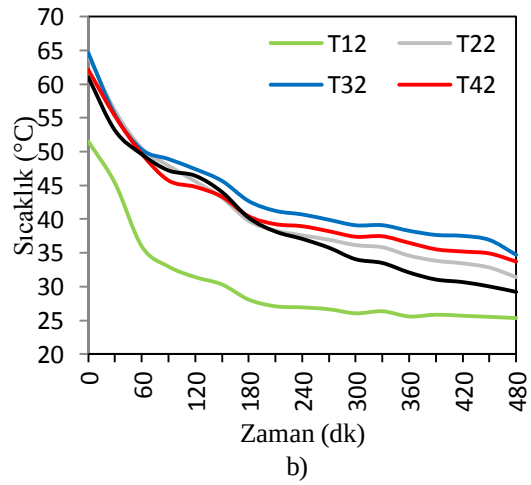
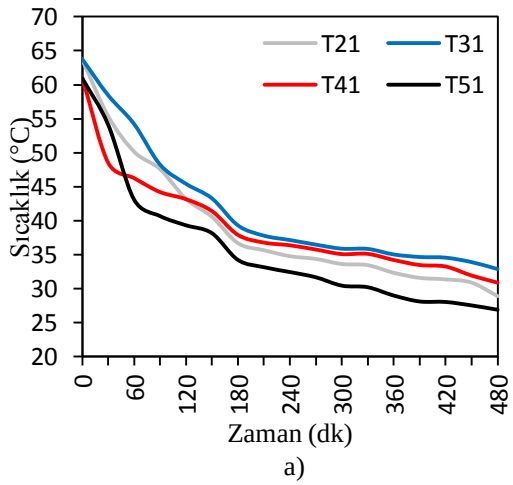
Şekil C.5. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

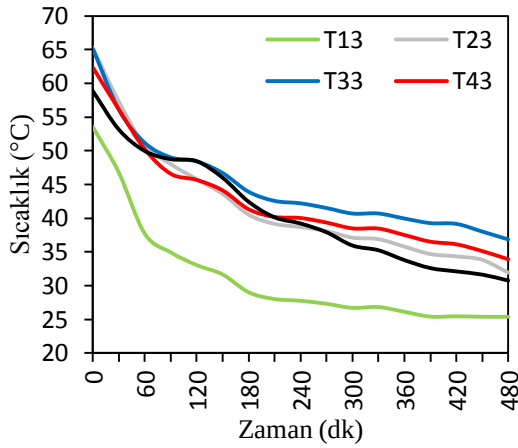


Şekil C.6. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

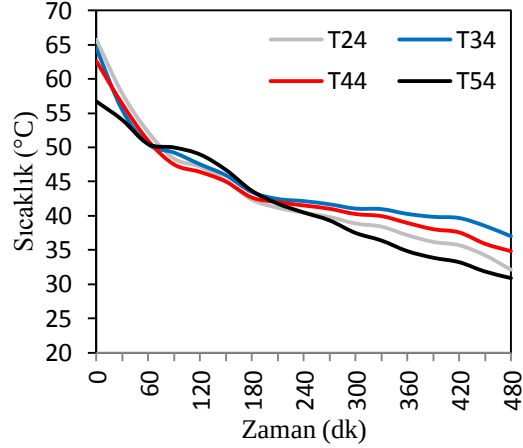


Şekil C.7. Ötektik karışımın katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25\text{ °C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



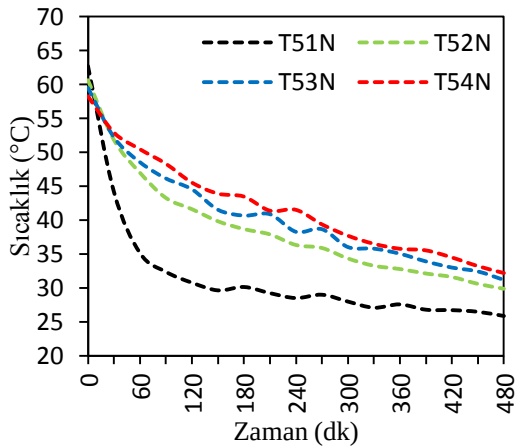


c)

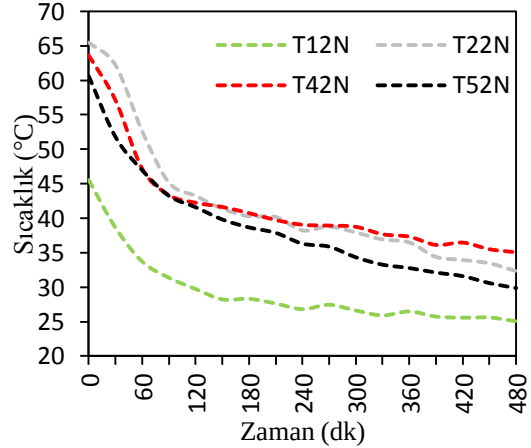


d)

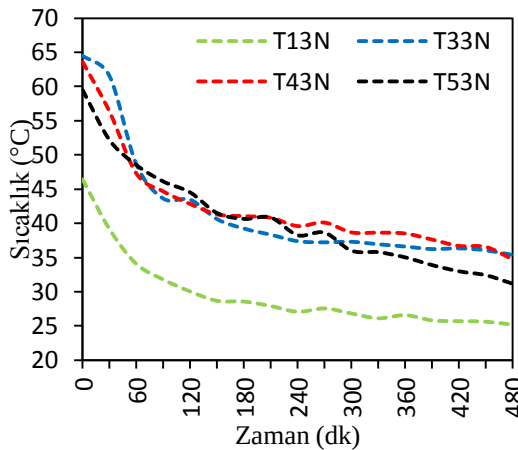
Şekil C.8.Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



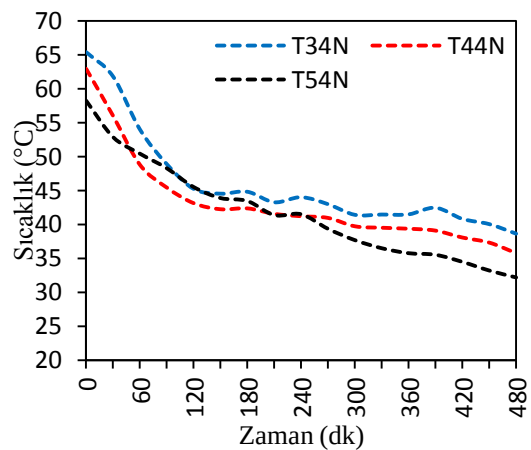
NPKFDM'nin 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



a)

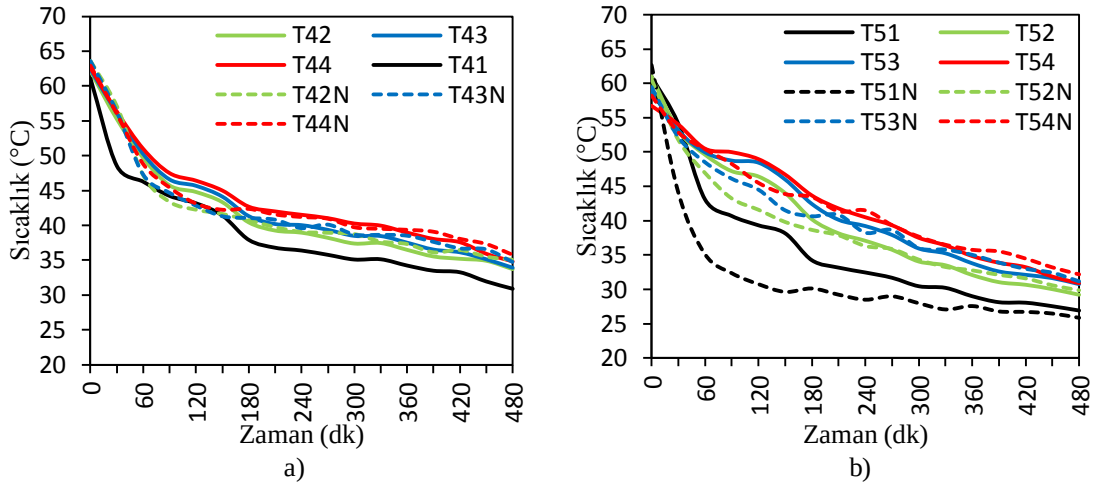


b)

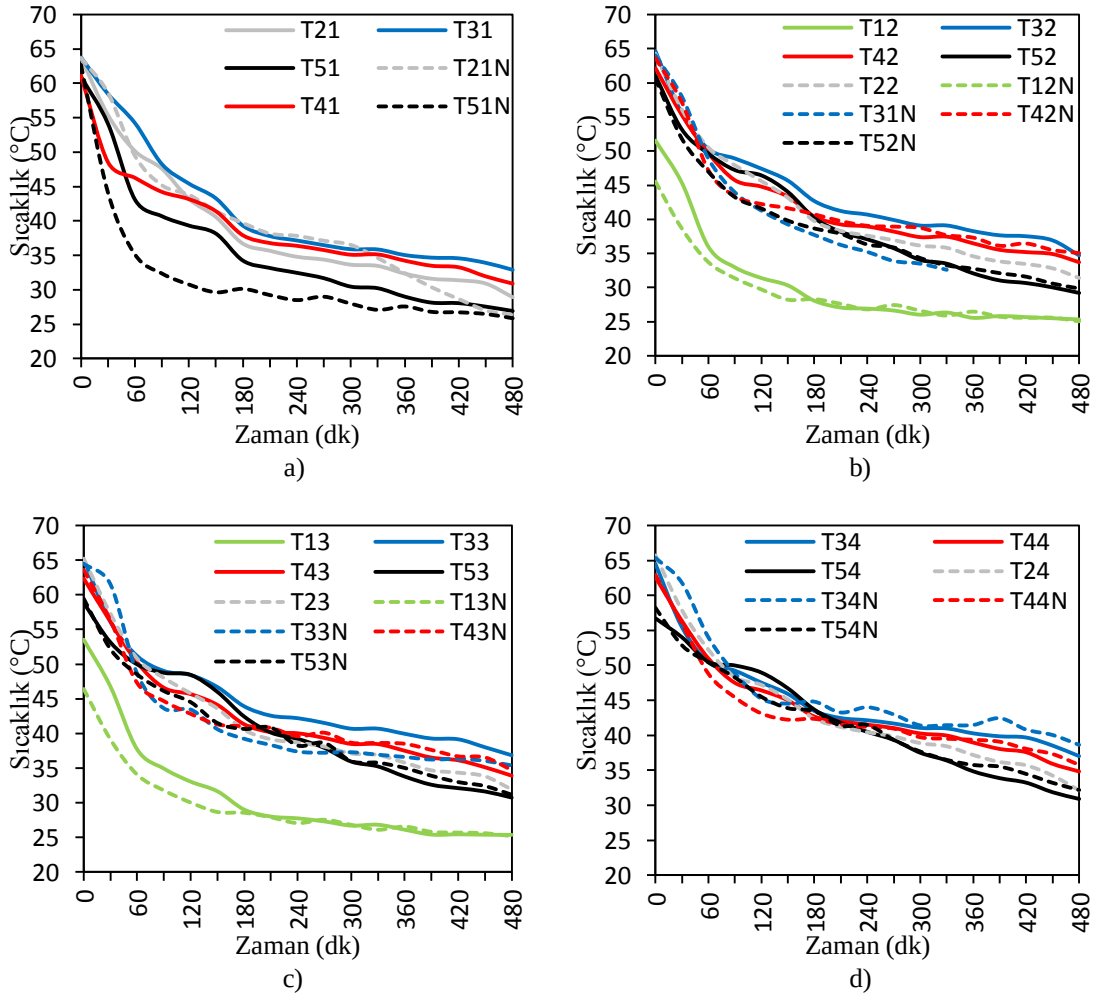


c)

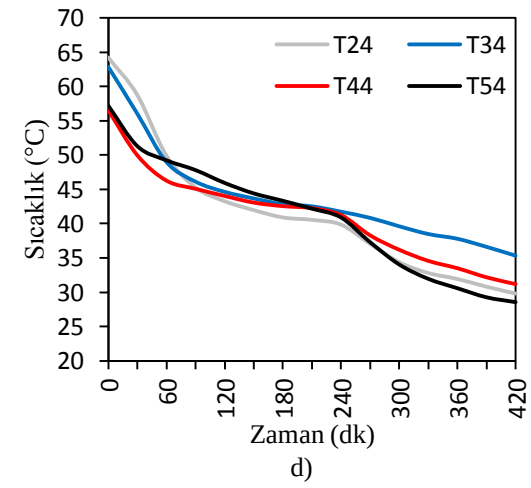
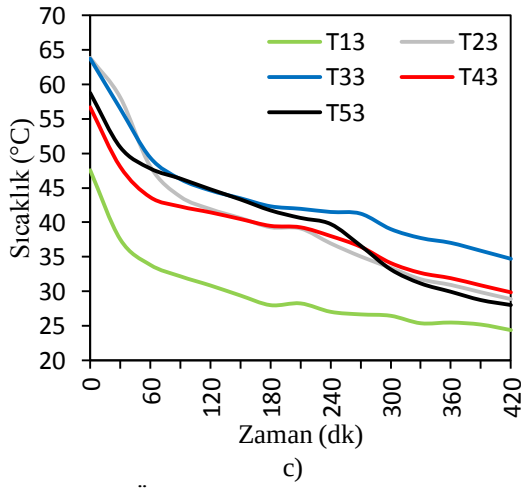
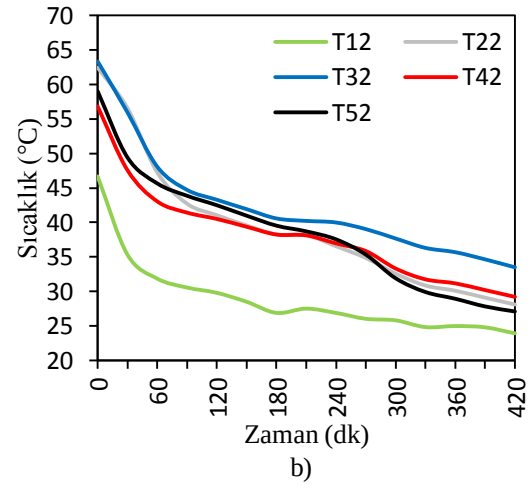
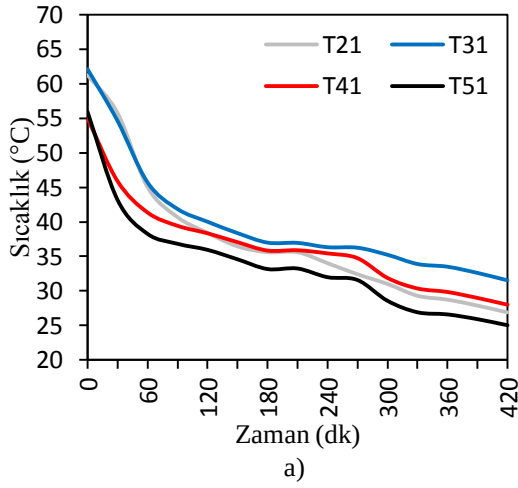
Şekil C.9.NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



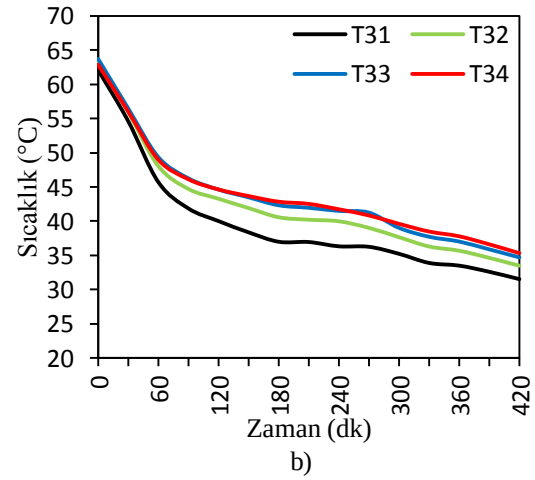
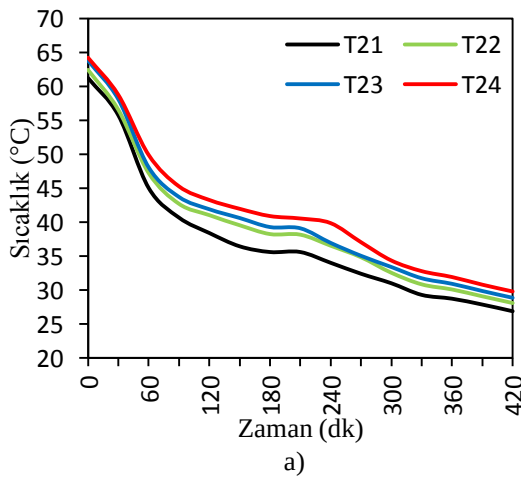
Şekil C.10. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

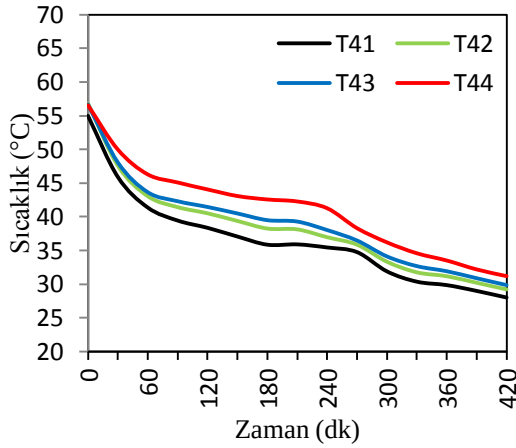


Şekil C.11. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 25^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

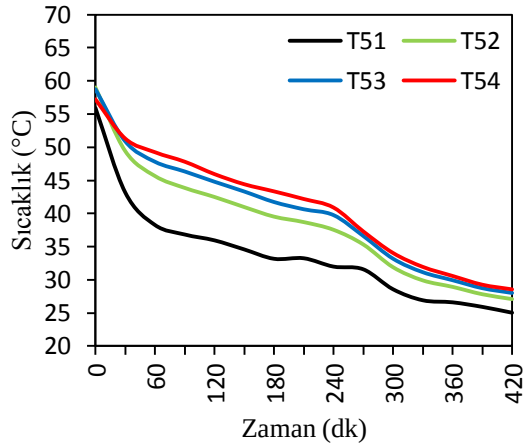


Şekil C.12. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi $T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 3\text{ kg/dk}$, a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



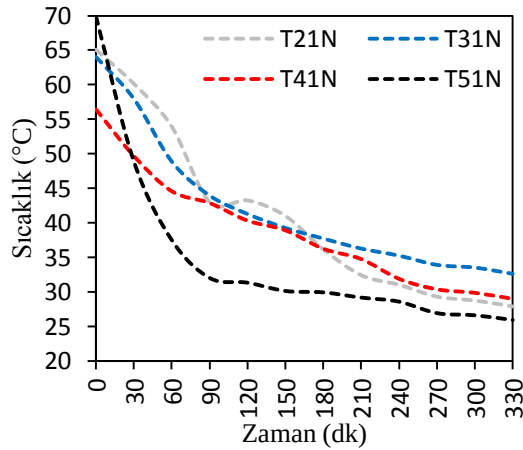


c)

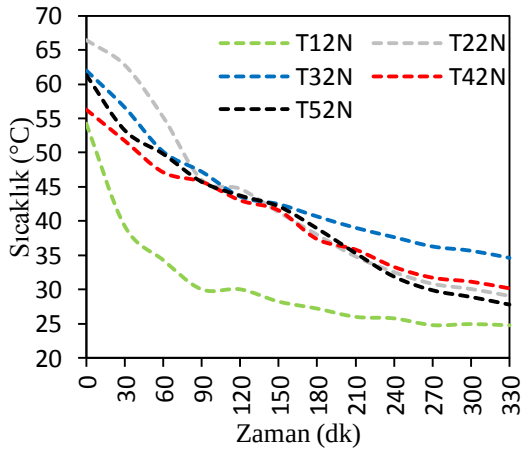


d)

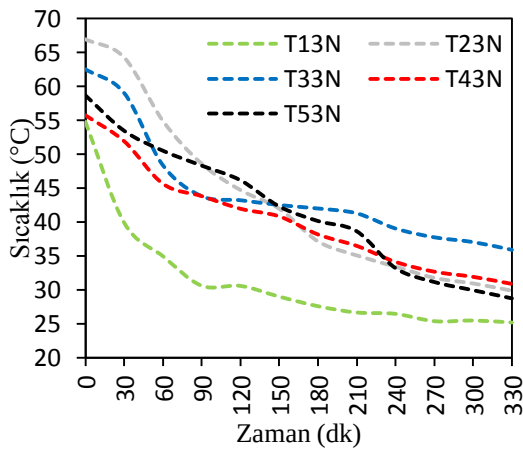
Şekil C.13. Ötektik karışımın katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



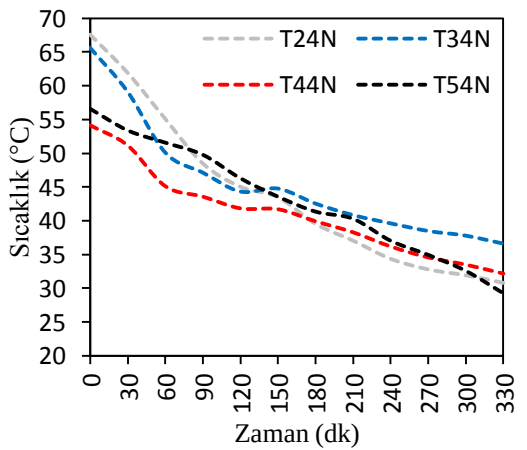
a)



b)

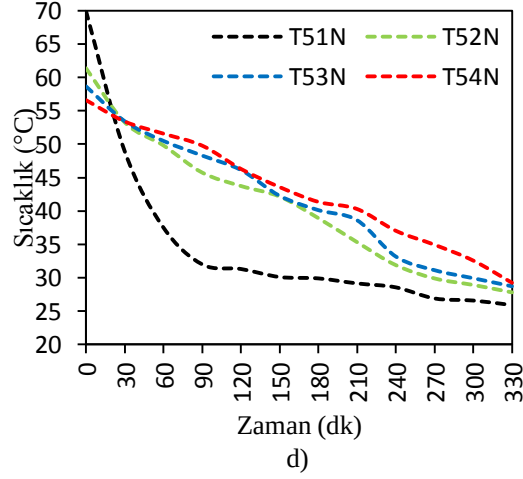
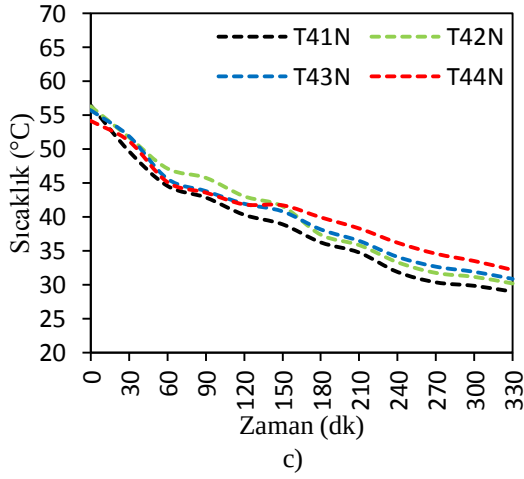
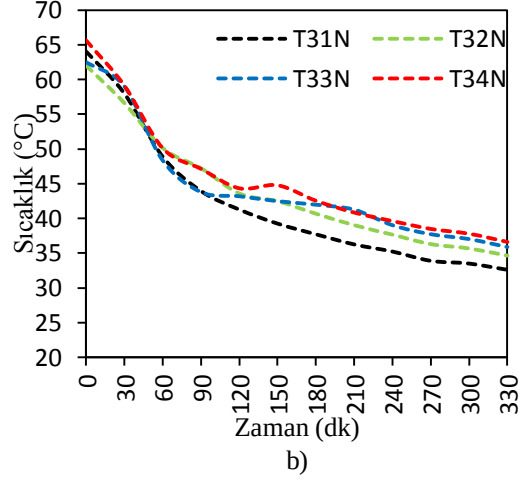
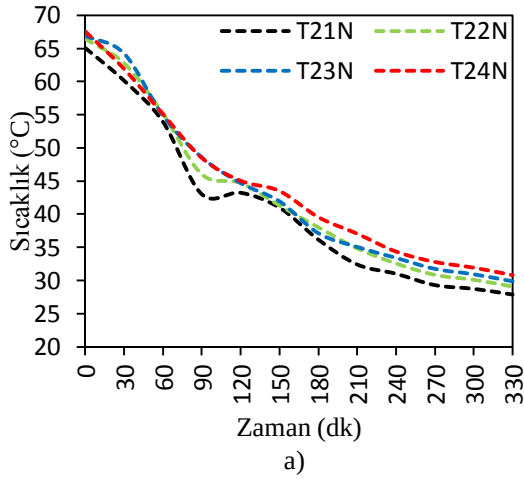


c)

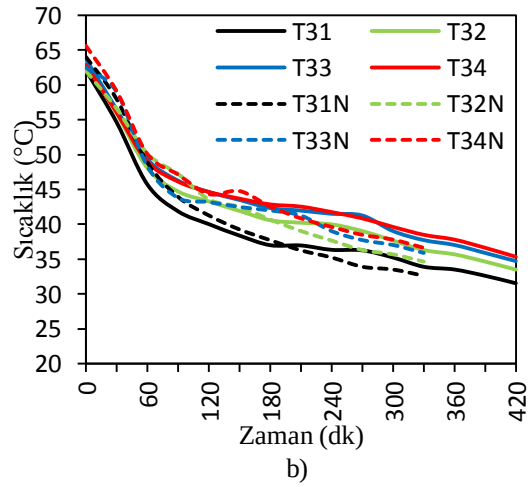
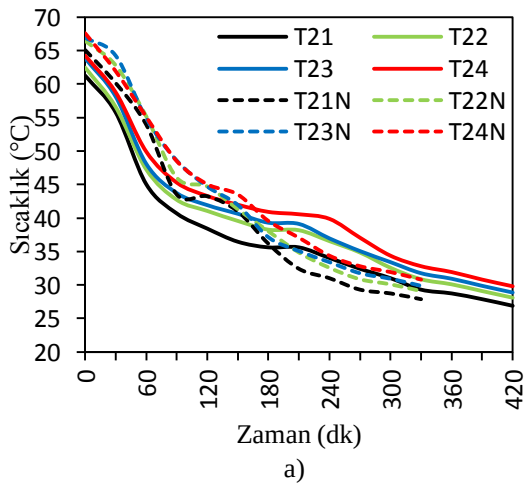


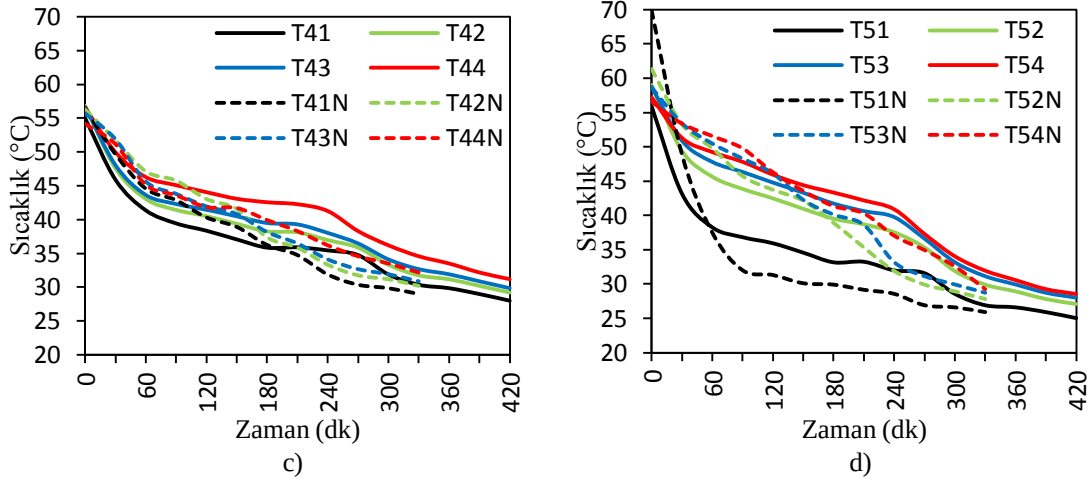
d)

Şekil C.14. NPKFDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

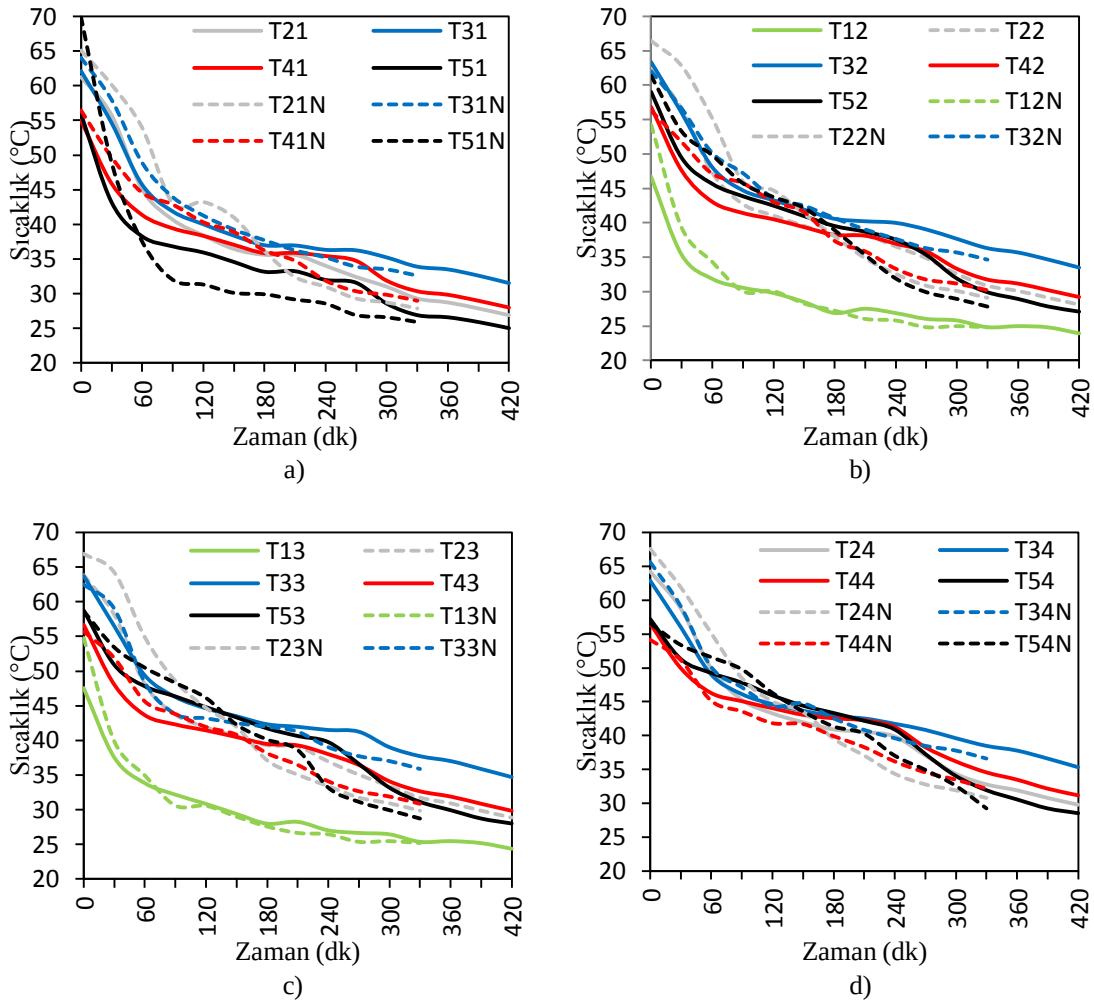


Şekil C.15. NKFDm'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

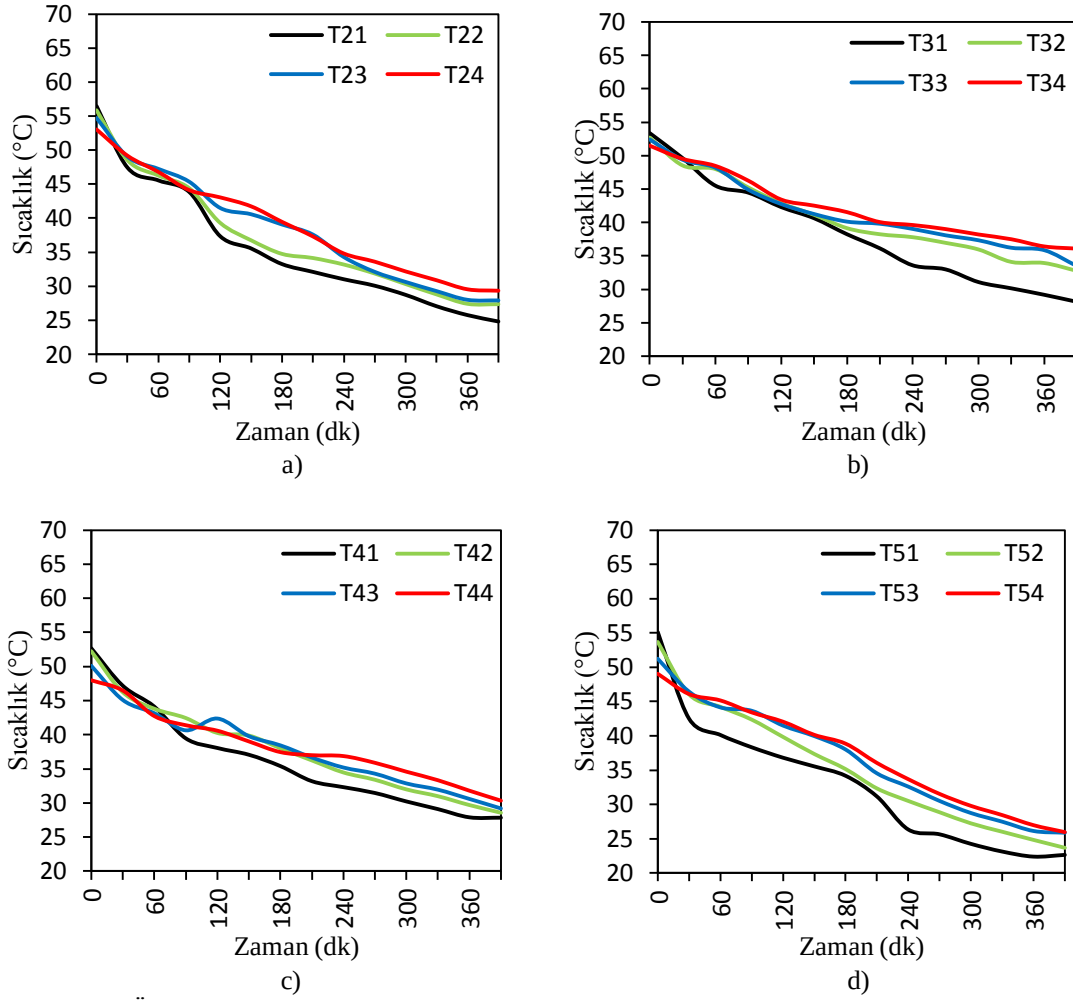




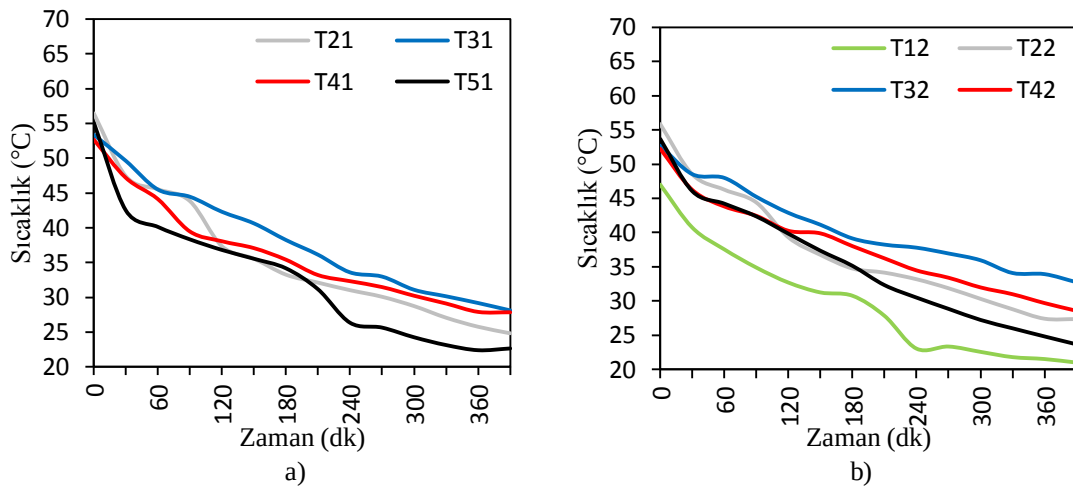
Şekil C.16. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

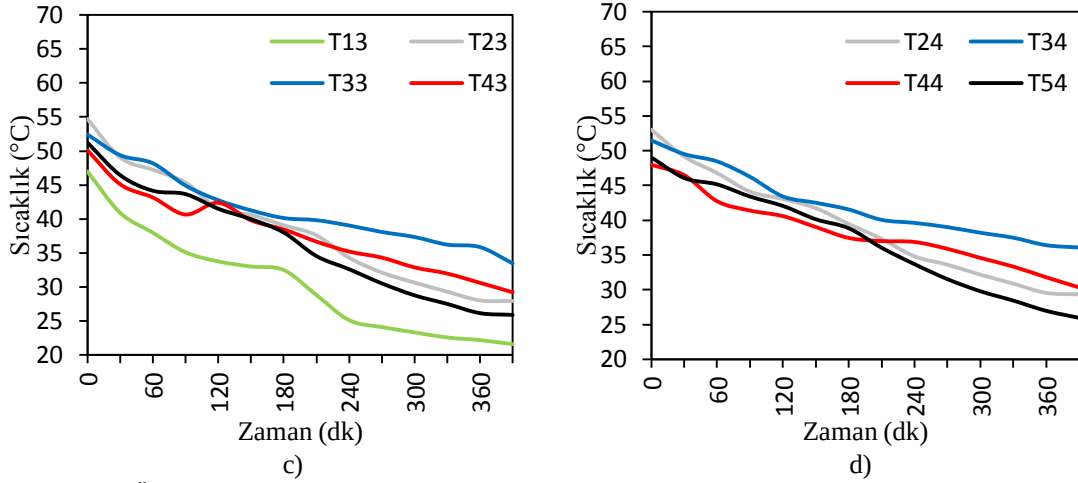


Şekil C.17. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 3 \text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

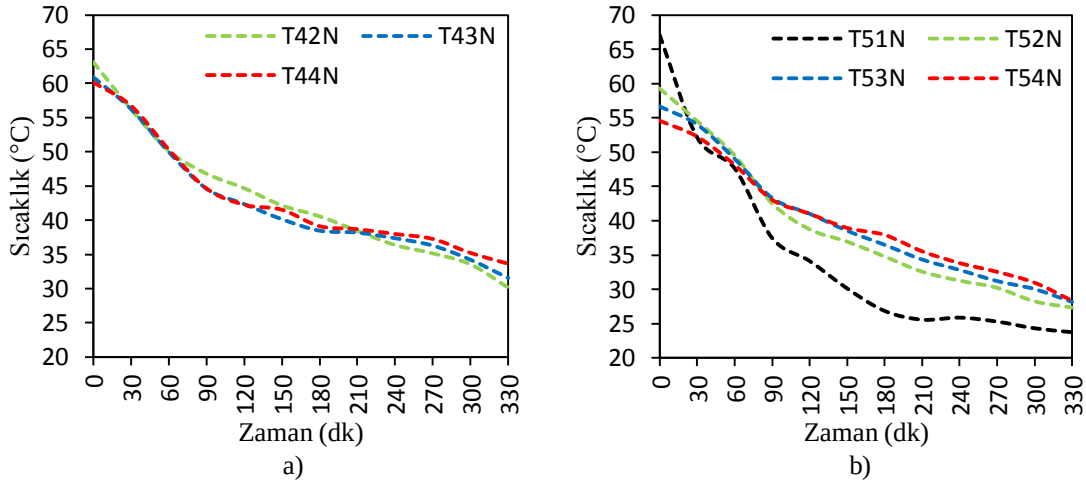


Şekil C.18. Ötektik karışımın katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 2'olu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

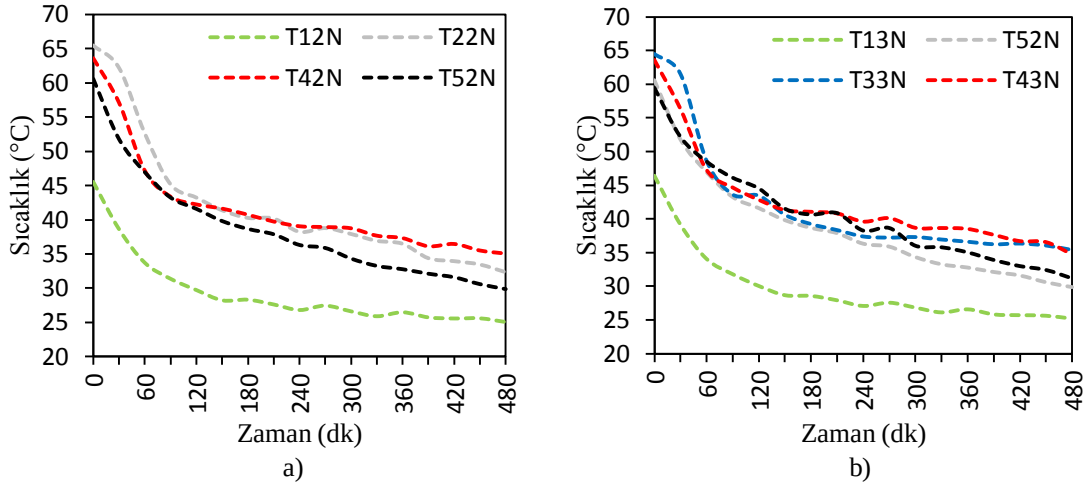




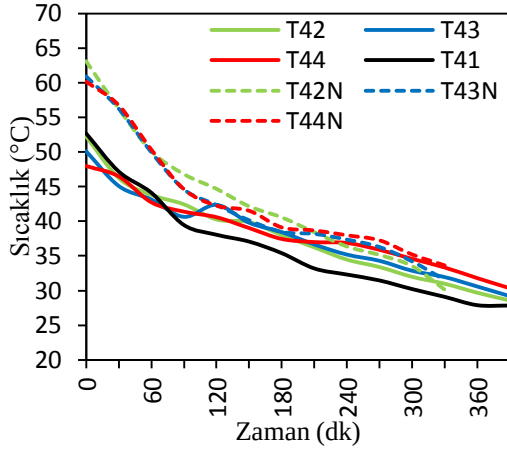
Şekil C.19. Ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 1'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, c) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, d) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



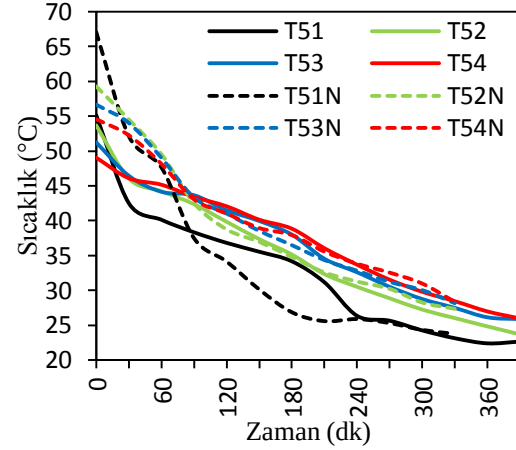
Şekil C.20. NKFDMD'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 4'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 5'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



Şekil C.21. NPKFDMD'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m} = 4\text{ kg/dk}$), a) 2'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'nolu ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

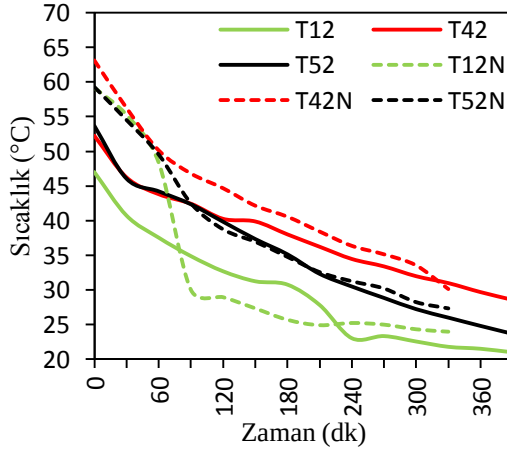


a)

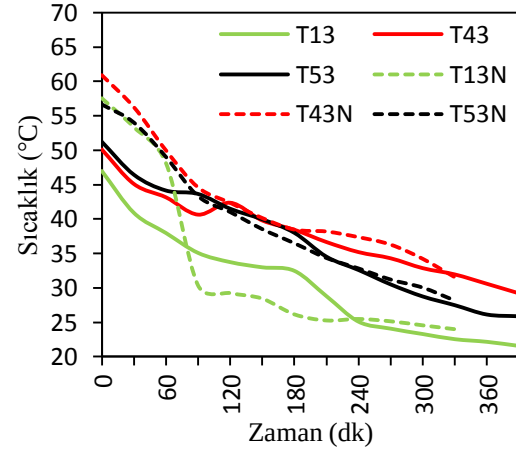


b)

Şekil C.22. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca yatay noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 4'üncü ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 5'inci ısı çiftinin sıcaklık değişimi,



a)



b)

Şekil C.23. NPKFDM ve ötektik FDM'nin katılaşma süreci boyunca dikey noktalardaki ısı çiftlerinin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi ($T_g = 20^\circ\text{C}$, $\dot{m} = 4 \text{ kg/dk}$), a) 2'inci ısı çiftinin sıcaklık değişimi, b) 3'üncü ısı çiftinin sıcaklık değişimi,

ÖZGEÇMİŞ

Ali TAŞKIRAN, 28.06.1987 tarihinde Kırşehir'in Akpınar ilçesinde doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini, İzmir Menemen'deki 9 Eylül İlköğretim Okulunda tamamladı. 2001 yılında, Menemen Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nin Makine bölümünde almaya başladığı lise eğitimini, 2005 yılında derece ile bitirdi. Aynı yıl Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulunun Makine programı eğitimine başladı. 2007 yılında geçiş yaptığı Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi bölümünün, Talaşlı Üretim Öğretmenliği programında devam etti. 2010 yılında bölümünden derece ile mezun oldu. 2010 yılında, yüksek lisans öğrencisi olarak Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Enerji Eğitimi Bölümünde eğitime başladı.