



**T. C.  
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GRAFEN NANO PARÇACIKLARLA KATKILANMIŞ FARKLI  
ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP FAZ DEĞİŞKEN MALZEME  
KOMPOZİTLERİN TERMAL ÖZELLİKLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eyup ERDİŞ**

**(201492181048)**

**Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı**

**Yrd. Doç. Dr. Ümit Nazlı TEMEL**

**SİVAS**

**2017**

**Ağustos 2017 Eyup ERDİŞ'in hazırladığı "Grafen nano parçacıklarla katkılanmış farklı erime sıcaklıklarına sahip Faz Değişken Malzeme kompozitlerin termal özelliklerinin belirlenmesi " adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENERJİ BİLİM VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.**

**Tez Danışmanı :** Yrd. Doç. Dr. Ümit Nazlı TEMEL  
Cumhuriyet Üniversitesi



**Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Kerim YAPICI  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Yrd. Doç. Dr. Neşe KEKLİKÇIOĞLU ÇAKMAK**  
Cumhuriyet Üniversitesi



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. İdris ZORLUTUNA**

**FEN BİLİMLERİ ENTİTÜSÜ MÜDÜRÜ**

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Eyup ERDİŞ, 2017

Sürekli iyi tutmaya özen gösterdiğim çalışma azmi ve moral enerjimin en büyük destekçisi canım aileme...

## ETİK

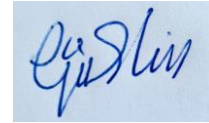
Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

07/09/2017

İmza

Eyup ERDİŞ



## ÖZET

### GRAFEN NANO PARÇACIKLARLA KATKILANMIŞ FARKLI ERİME SICAKLIKLARINA SAHİP FAZ DEĞİŞKEN MALZEME KOMPOZİTLERİN TERMAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

**Eyup ERDİŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Dr. Ümit Nazlı TEMEL**

**2017, XIX+55 sayfa**

Faz değişken malzemelerin (FDM) bir termal enerji depolama ünitesi veya ısı enerjisi aktarma sisteminin ana bileşeni olarak geniş bir yelpazede çeşitli uygulamaları bulunmaktadır. İnşaat ve otomotiv sektörü başta olmak üzere elektronik, savunma ve uzay sanayisinde temel yapısal ve kontrol sistemlerinin ısı şartlandırma malzemesi olarak enerjinin kısa süreli yada uzun süreli saklanması veya dengelenmesini sağlamak amaçlı kullanılmaktadır.

Bir çok faz değişken malzemenin, farklı erime sıcaklıklarına sahip olarak üretilebilir olması ve sınıflandırılması, termal kontrol sistemlerinde, mühendislerin esnek malzeme seçimini kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla bu malzemelerin, erime ve donma işlemleri sırasında gerçekleşen faz değişim ısı enerjileri dediğimiz latent ısı enerji kapasitelerinden, optimum seviyede faydalanmamızın araştırılması gerekmektedir.

FDM lerin çok dar sıcaklık aralığında ya da sabit varsayılan bir sıcaklıkta erirken aldıkları veya katılaşıırken verdikleri faz değişim ısı (Latent Isı) karakteristikleri temel alınarak, tasarlanan çok çeşitli enerji transfer veya ısı tasarruf ve kontrol mimarileri oluşturulmaktadır. Bu uygulama süreçleri planlanırken, çalışılacak parafin malzemelerin seçimi sırasında, FDM'nin ekonomik bulunabilirliği, en uygun operasyon sıcaklık noktası veya sıcaklık aralığı, latent ısı kapasitesi ve ısı iletkenlik katsayıları gibi etkenler göz önüne alınarak saptanır. Geniş sıcaklık yelpazesinde seçilen FDM malzemesinin erime ve donma latent (ısı uyku) enerjisi 200 J/g mertebelerinde olduğu için çok tercih edilmekte olmasına karşın ısı iletkenlik katsayısı 0,2 ve 0,4 W/m·K arasında bir

değerdedir. Seçimi yapılan FDM'nin performansında en kritik özellik latent ısı karakteristiği olmasının yanı sıra, bir çok uygulamada bu latent ısı şartlarına erişim hızının ancak ısı iletkenliği artırmakla mümkün olduğunu ve dolayısıyla buna yönelik iyileştirici çalışmalar yapmak gereği ortaya çıkmaktadır.

Seçimi yapılan FDM'nin k; ısı iletkenliğini artırmamız için kullanılan yöntemler son yıllarda özellikle enerji, malzeme ve nanoteknoloji alanlarında bilimsel çalışmaların en önemli konuları arasındadır. Değişik şekillerde ve içerikte, kullanılmakta olan (FDM) organik-parafin faz değişken malzemelerden, istenilen termal denge koşullarında latent enerjilerinden maksimum yararlanmak için termal süreç iyileştirilmesi ve ısı kapasite miktarı kullanımına bağlı olarak teorik ve deneysel hesaplamalar sonucu değişik tasarımlar yapılmıştır.

FDM lerin ısı iletkenlik katsayılarını artırmak için farklı yöntemler uygulanmıştır. Bunlardan en önemlileri, faz değişken malzemenin yüksek ısı iletkenliğe sahip malzemedan üretilmiş konteyner kap içerisine konularak iletken ısı temas yüzeylerinin artırıldığı düzeneklerdir. Bir diğer FDM modeli, yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip olan kanatçık veya kafes materyali ile FDM birleşiminden oluşur. Bu sistemlerde yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip karbon, silikon veya metalden oluşturulmuş kafes malzemeler kullanılmıştır. En çok tercih edilen iyileştirme modeli ise, FDM' lere ısı iletkenlik değeri yüksek, nano ölçekte parçacıklar (NP) katkılanarak elde edilen NP-FDM kompozit malzemesidir. Farklı konsantrasyonlarda ve farklı nano boyutlarda (1 ila 100nm) kalınlık veya çaplarda karbon tabanlı grafen nanoplakalar, nanotüpler ve nanofiberler katkılanarak, iletkenliği yüksek düzeydeki bu parçacıklarla oluşturulan NP-FDM kompozit malzemesinin istenilen ısı performansta çalışması sağlanabilmektedir. Bu çalışmada deneysel olarak karşılaştırdığımız üç farklı (42, 62 ve 82 °C) erime sıcaklığına sahip organik parafin faz değişken malzemelerle, üç farklı kalınlıkta grafen plakalar ve çok duvarlı karbon nano tüp ayrı ayrı katkılanarak nano parçacık kompozit malzemeler elde edilmiştir. Oluşturulan NP-FDM numunelerinin ısı iletkenlik değerlerindeki değişim KD2 Pro iletkenlik ölçme cihazı ile saptanmıştır. Bu kompozit NP-FDM lerin ısı performansları DSC (diferansiyel taramalı kalorimetre) ünitesinde yapılan deneylerle sıcaklık ve kullanım latent ısı kapasitelerindeki değişimler detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Saf FDM lerin yüksek latent kapasitelerinden yararlanmak asıl amaç olduğundan, karbon nanoparçacık



katkılanarak yaptığımız çeşitli deneylerde, ısı iletkenlik değeri artırılırken, latent faz değışim ısı enerji kapasitesinin analizleri, FDM'ye katkılanan nano parçacık boyutu, şekli ve miktarlarına bağı olarak nasıl değıştiğı, elde edilen deneysel veriler ışığında tartışılmıştır. Referans malzeme olarak kullanılan A82 parafin FDM'ye katkılanan 3 tip grafen nano plakalardan optimum GNP boyutu belirlenerek, her üç FDM için; A42, A62 ve A82 saf parafin malzemesine katkılanan GNP ve MWCNT davranışları karşılaştırmalı olarak incelenerek hangi ısı özelliklerinde uygulanabilirliğine yönelik ayrıntılı bir inceleme sunulmuştur.

Yapılan deneylerde belirlenen parafin FDM'lerdeki ısı iletkenlik performansını artıran en iyi nano parçacık GNP(6-8nm) olduğu saptanmıştır. A82 için ısı iletkenlik katsayısı değerini %154 artırmış, A62 için %221 ve A42 FDM için %218 iyileştirme değerleri bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Grafen Nano Plaka, Karbon Nano Tüp, Isıl İletkenlik, Latent Enerji, Fazdeğişken Malzemeler, Parafin

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION THERMAL PROPERTIES OF GRAFEN BASED NANOMATERIALS DOPED PHASE CHANGEABLE MATERIALS WHICH HAVE DIFFERENT MELTING TEMPERATURES**

**Eyup ERDİŞ**

**Master of Science Thesis, Department of Energy Science and Technology**

**Supervisor: Dr. Ümit Nazlı TEMEL**

**2016, XIX+55 pages**

Phase changeable materials (PCM) have a wide range of applications as a thermal energy storage unit or as the main component of the heat energy transfer system. In recent years, storage of thermal energy has become a very important topic in many engineering applications and has been the subject of a great deal of research activity.

It is mainly used in the construction and automotive sector, as a thermal conditioning material for basic systems and control systems in the electronics, defense and space industries. It is used for long term storage or balancing of energy.

The production and classification of many phase-change materials with different melting temperatures facilitates the selection of flexible materials for engineers in thermal control systems. Therefore, it is necessary to investigate whether these materials utilize the latent heat energy capacities of melting and freezing phase change heat capacities at the optimum level.

A wide variety of energy transfer or heat saving and control architectures are being designed, based on the PCM's characteristics of very low temperature range, or phase change heat (Latent Heat) that they acquire or solidify when cooled at a fixed temperature. During the selection of the paraffin materials to be worked out, the economical availability of PCM is determined by taking into account such factors as the optimal operating temperature or temperature range, latent heat capacity and thermal conductivity coefficients, while planning these adaptation processes. The thermal conductivity coefficient is a value between 0,2 and 0,4 W / mK, although the melting and freezing latent (thermal sleep) energy of the selected PCM material in the wide

temperature range is 200 J / g. The most critical feature in the performance of the selected PCM in addition to being a latent heat characteristic, in many applications it appears that the rate of access to these latent heat conditions is only possible by increasing the thermal conductivity, and therefore, to carry out remedial work for it.

There are various types of phase change materials commercially being used in several applications; paraffins are the most commonly used, as they show good storage density with respect to mass, and start to melt/solidify congruently without any sub cooling.

The methods used to increase the thermal conductivity are among the most important topics of scientific studies in recent years. Different forms of phase-change materials based on organic paraffin-based (PCM) materials used in different shapes and compositions have been theoretically and experimentally calculated depending on the use of thermal process improvement and the amount of thermal capacity to maximize latent energies in the desired thermal equilibrium conditions.

Different methods have been applied to increase the thermal conductivity coefficients of PCMs. The most important of these are the arrangements in which the conductive thermal contact surfaces are increased by placing the phase-variable material in a container manufactured from material having high thermal conductivity. Another PCM model consists of a combination of a fin or a lattice material with high thermal conductivity and PCM. In these systems, cage materials made of carbon, silicon or metal with high heat transfer coefficient are used. The most preferred model is NP-PCM composite material obtained by adding high nanoscale particles (NP) to PCM's thermal conductivity value. By combining carbon-based graphene nanoplates, nanotubes and nanofibers at different concentrations and different nano sizes (1 to 100 nm) thickness or diameter, the desired thermal performance of NP-PCM composite material formed with these highly conductive particles can be achieved. Experimental comparison of three different (42, 62 and 82 °C) melting temperature organic paraffin phase variable materials, three different thickness of graphene plates and multiwalled carbon nanotubes were obtained separately to obtain nanoparticle composite materials. The change in the thermal conductivity values of the experimentally generated NP-PCM samples was determined with the KD2 Pro conductivity meter. The thermal performances of these composite NP-PCMs were compared in detail to the changes in temperature, enthalpy, and latent heat capacities of use by experiments performed in the DSC (differential scanning calorimeter) unit. Since

the main purpose of utilizing the high latent capacities of pure PCMs is to increase the thermal conductivity in various experiments we have made by adding carbon nanoparticles, the latent phase change is discussed in the experimental data of how the thermal energy capacity changes with the size, shape and amount of the added particles. In this study, thermal behaviors varying with the doped nanoparticles ( 3 types of Grafen and 1 type of Mwcnt ) of PCM pure paraffin materials in three different properties are examined comparatively and a methodical approach to their applicability to thermal properties is presented.

**Key words:** Graphen Nano Plate, Carbon Nano Tube , Multi Layer GNP, Thermal Conductivity, Latent Heat, Phase Changeable Material, Paraffine

## TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ümit Nazlı TEMEL'e çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Cumhuriyet Üniversitesi Enerji Bilimleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Öğretim elemanlarına ve Süleyman Demirel Üniversitesi Kimya Mühendisliği öğretim üyesi Doç. Dr. Kerim YAPICI'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam süresince benden yardımını hiç esirgemeyen laboratuvar arkadaşlarıma teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET.....	VII
TEŞEKKÜR.....	XIII
İÇİNDEKİLER.....	XIV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XVII
SİMGELER DİZİNİ.....	XVIII
KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIX

1.GİRİŞ.....	1
2.MATERYAL VE METOD .....	14
2.1 Grafen ve karbon tabanlı nano parçacıkların özellikleri .....	16
2.2 Faz değişken malzemelerin nano parçacık katkılanarak, termal kompozit deney numunelerinin hazırlanması, numunelerin üretimi .....	18
3.SONUÇ VE TARTIŞMA .....	23
3.1 Üç farklı faz değişken malzemenin sıcaklığa bağlı olarak değişen ısı iletkenlik testleri .....	23
3.2 Üç farklı faz değişken malzemenin saf hali ile MWCNT ve GNP katkılandığındaki kompozit hali arasındaki ısı iletkenlik farkları .....	28
3.3 Faz değişken malzemelerin (GNP) ve MWCNT katkılandığında elde edilen kompozitin erime ve donma gizli ısı (latent) enerji karakteristikleri. ...	35
3.4 Nano parçacık (GNP ve MWCNT) katkılı kompozit NPFDM' nin erime ve donma çevrimlerinin latent ısı karakteristiklerine etkisi.....	43
4.GENEL SONUÇLAR.....	49
KAYNAKLAR .....	53

## ÖZGEÇMİŞ

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Şekil 1.1</b>	Literatürde bazı karbon tabanlı nano parçacıkların katkı oranına bağlı olarak FDM latent enerji miktarındaki değişimler .....	5
<b>Şekil 1.2</b>	Literatürde, MWCNT katkı oranına bağlı FDM'nin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişim .....	5
<b>Şekil 1.3</b>	Literatürde, GNP katkı oranına bağlı FDM'nin ısı iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi .....	6
<b>Şekil 1.4</b>	Faz değişken malzemelerin ısı kapasiteleri .....	9
<b>Şekil 1.5</b>	Faz değişken malzemelerin sınıflandırılması .....	11
<b>Şekil 1.6</b>	FDM Alkan parafinlerde karbon atom numarası ile erime sıcaklık değişimi .....	13
<b>Şekil 2.1</b>	Karbon tabanlı grafen ve nano tüplerin moleküler yapısı .....	14
<b>Şekil 2.2</b>	a).Nano parçacıkların ve FDM lerin tartım işleminin yapıldığı hassas terazi, b). FDM ve nanoparçacıklar için sabit sıcaklıkta ısıtıcı platform ve sonik başlık c). Sonikatör (ultrasonik karıştırıcı) .....	17
<b>Şekil 2.3</b>	FDM parafinlerin ve NP/FDM kompozitlerin eritilerek döküm işlemi gerçekleştirilen silindirik kalıp. ....	17
<b>Şekil 2.4</b>	NP/FDM lerin ısı iletkenliklerinin test edildiği ısı iletkenlik ölçer KD2 PRO. ....	18
<b>Şekil 2.5</b>	JeioTech sıcaklık ve nem şartlandırma kabini .....	21
<b>Şekil 3.1</b>	Saf A42 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A42 FDM'nin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla (-10 ila +20) değişimi. ...	24
<b>Şekil 3.2</b>	Saf A62 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A62 FDM'nin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi.. ....	25
<b>Şekil 3.3</b>	Saf A82 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A82 FDM'nin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla (-10 ila +30)arasında değişimi .....	26
<b>Şekil 3.4</b>	Saf A82 ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) ve 3 farklı kalınlıkta GNP katkılı A82 FDM'nin +20°C deki ısı iletkenlik artışı.....	28
<b>Şekil 3.5</b>	1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) katkılı A82, A62 ve A42 FDM' lerin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi. ...	30
<b>Şekil 3.6</b>	1%, 3% ve 5% oranlarında GNP(6-8nm) katkılı A82, A62 ve A42 FDM' lerin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi... ..	31
<b>Şekil 3.7</b>	1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A42 FDM' kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi... ..	32

<b>Şekil 3.8</b>	1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A62 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi...	33
<b>Şekil 3.9</b>	1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A82 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi ..	34
<b>Şekil 3.10</b>	A42 FDM kompozitinin performansının 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan MWCNT (50-80nm) etkisiyle DSC’de izlenen erime, katılaşma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimi.....	35
<b>Şekil 3.11</b>	A42 FDM ‘ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan GNP(6-8nm) ile NPFDM’ nin DSC’ de izlenen erime katılaşma Latent değişimi. ....	36
<b>Şekil 3.12</b>	A62 FDM’ye 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) etkisiyle NPFDM’ nin DSC’ de izlenen erime katılaşma Latent değişimi.....	37
<b>Şekil 3.13</b>	A62 FDM’ye 1%, 3% ve 5% GNP (6-8nm) etkisiyle NPFDM’ nin DSC’ de izlenen erime katılaşma Latent değişimi. ....	38
<b>Şekil 3.14</b>	A82 FDM’ye 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) etkisiyle NPFDM’ nin DSC’ de izlenen erime katılaşma Latent değişimi .....	39
<b>Şekil 3.15</b>	A82 FDM’ye 1%, 3% ve 5% GNP (6-8nm) etkisiyle NPFDM’ nin DSC’ de izlenen erime katılaşma Latent değişimi. ....	40
<b>Şekil 3.16</b>	A82 FDM’ye 1%, 3% ve 5% GNP (1-5nm) etkisiyle NPFDM’ nin DSC’ de izlenen erime katılaşma Latent değişimi.....	41
<b>Şekil 3.17</b>	A82 FDM’ye 1%, 3% ve 5% GNP (11-15nm) etkisiyle NPFDM’ nin DSC’ de izlenen erime katılaşma Latent değişimi .....	42
<b>Şekil 3.18</b>	5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A42 FDM kompozitinin erime ve donma çevrimlerinin katılaşma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi. ....	43
<b>Şekil 3.19</b>	5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A42 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılaşma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi .....	44
<b>Şekil 3.20</b>	5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A62 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılaşma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.....	45
<b>Şekil 3.21</b>	5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A62 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılaşma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi. ....	46
<b>Şekil 3.22</b>	5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A82 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılaşma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.....	47
<b>Şekil 3.23</b>	5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A82 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılaşma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi. ....	48



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1</b>	Faz değişken malzemelerin tercih edilmesinin nedenleri.....	2
<b>Çizelge 1.2</b>	Literatürde farklı araştırma gruplarınca Grafen ve MWCNT ısı iletkenlik performans karşılaştırılması .....	6
<b>Çizelge 1.3</b>	Farklı araştırma gruplarınca karbon tabanlı nanoparçacıklar ile üretilen nano parçacık kompozit faz değişken malzemelerin Latent ısı değişimleri .....	6
<b>Çizelge 1.4</b>	Organik, inorganik ötektik ve karışım FDM lerin fiziksel özellikleri..	13
<b>Çizelge 1.5</b>	Deneylerde kullanılan grafen ve karbon nano parçacıkların fiziksel özellikleri .....	15
<b>Çizelge 1.6</b>	Deneylerde kullanılan Faz Değişken Malzemelerin fiziksel özellikleri	16



## SİMGELER DİZİNİ

<b>k</b>	Isıl iletkenlik, (W/mK)
<b><math>\alpha</math></b>	Isıl yayınım katsayısı, (m <sup>2</sup> /sn)
<b><math>\rho</math></b>	Yoğunluk, (kg/m <sup>3</sup> )
<b><math>\hat{T}</math></b>	Kümülatif faz geçiş ısısı, (J/g)
<b><math>c_p</math></b>	Sabit basınçta özgül ısı kapasitesi, (J/g.K)
<b><math>c_v</math></b>	Sabit hacimde özgül ısı, (J/g.K)
<b>T</b>	Sıcaklık, (°C), (°K)
<b>H</b>	Özgül entalpi, (J/g)
<b>L</b>	Faz değişim ısısı (latent), (kJ/kg)
<b><math>\gamma</math></b>	Özgül ısıların oranı
<b><math>\Phi</math></b>	Özgül ısı akısı, (W/g)
<b>M</b>	DSC analizinde kullanılan FDM kütlesi, (mg)
<b>q</b>	Isıtma veya soğutma oranı, (K/min)

## KISALTMALAR DİZİNİ

- FDM** : Faz Değişken Malzeme
- PCM** : Faz Değişken Malzeme (Phase Changed Material)
- NP/FDM** : Nano parçacık katkılı faz değişken malzeme (kompozit)
- ÇDKNT** : Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
- KNT** : Karbon Nanotüp
- MWCNT** : Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (Multi Wall Carbon Nano Tube)
- GNP** : Grafen Nano Plaka
- LHTES** : Faz geçiş enerji kapasitesi( Latent Heat Thermal Energy Capacity)
- DSC** : Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel taramalı kalorimetre)
- DTK** : Diferansiyel taramalı kalorimetre

## 1.GİRİŞ

Isı enerjisi kontrol ve yönetimi, transfer ve depolama, faz değişken malzemeler, parafinler, nano parçacıklar, karbon, grafit, karbon nanotüp ve grafen kavramları son yıllarda teknolojinin ve bilimin en çok uğraştığı alanlar arasında yer almaktadır. Malzeme boyutlarının, milimetrenin milyonda biri mertebelerinde, nano ölçekte işlenebilmesine olanak tanıyan cihaz ve ekipmanların gelişmesine paralel olarak, bilimsel ve teknik araştırma potansiyelinin artmasına, nano ölçekte çeşitli ve yeni malzeme kompozisyonlarının oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Farklı mühendislik disiplinleri ve yaklaşımlarıyla, malzemelerin ısı kararlılığının geliştirilmesi ile yeni nanoteknolojik yöntemler kullanılarak bir ısı sistem için gereken en verimli çözümün sunulması mümkün olmaktadır.

Isı enerjisinin kontrolü ve ısı transferi uygulamalarında ısı şartlandırma ve depolama materyali olarak kullanılan bir faz değişken malzemenin en belirgin tanımı malzemenin erime sıcaklık noktasıdır. FDM'nin faz değiştirme sürecinde erirken absorbe ettiği ısı miktarı ile aynı malzemenin tersinir süreçte katılaırken dışarı verdiği ısı miktarları, enerji sistem çözümlerinde o malzemenin ( saf FDM veya katkılı FDM'nin ) temel ısı karakteristiklerinden en önemlileridir. Diğer parametreler ise malzemenin erimeye başladığı, erimenin sonlandığı ve birim zamanda maksimum enerji alımının gerçekleştiği, pik sıcaklık değerleridir. Deneysel çalışmalarda FDM kütlesinin ısınma sürecinde erimeye başladığı sıcaklık ve erimenin sonlandığı bitiş sıcaklık değerleri arasındaki fark ( $\Delta T$ )<sub>e</sub> ile, soğuma sürecinde katılaşmaya başladığı sıcaklık ve katılaşmanın sonlandığı sıcaklık değerleri farkı ( $\Delta T$ )<sub>k</sub> parametreleri de faz değişken malzemenin termodinamik açıdan performansını ve ısı kararlılığını belirlemektedir.

FDM'ler saf veya kompozit malzeme uygulamalarında ısıtma ve soğutma çevrimlerinin erime ve katılaşma karakteristiklerinde kararlılığını değiştirmeyen ve katılaşma sırasında ilave bir soğutmaya gerek duymaması açısından, ticari olarak en çok kullanılan parafin FDM lerdir. Ayrıca, kimyasal ortam reaktifleri ile etkileşime girmezler ve hidrofobik bir yapıdadırlar. Erime sonrasında düşük buhar basıncı ile ek bir hacimsel hareketlilik göstermezler. Geri dönüşüm kolaylığı bakımından

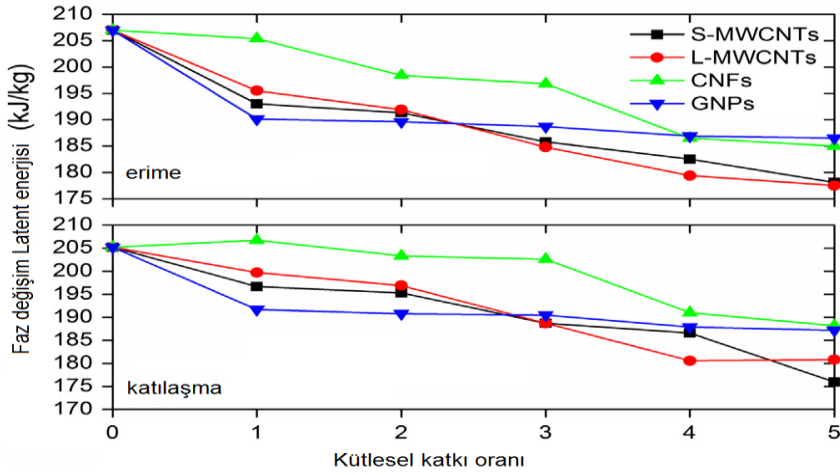
oldukça elverişli bir malzemedir ve 500°C 'ye kadar kristal yapılarında bir değişiklik görülmemektedir. Faz değişken materyallerin bir çok uygulamada ısıtma ve soğutma yada ısı süreçlerin dengelenmesinde kullanılması çok yaygındır. Var olan kimyasal bileşiklerin, organik, inorganik, su, tuz ve metaller ile bunların ötektik karışımları, faz değişken malzeme seçiminde oldukça kolay erişilebilen örnekler oluşturmaktadır.

**Çizelge 1.1** FDM'lerin uygulamalarda tercih edilmesinin nedenleri.

Termal	Uygulama sıcaklığına göre en uygun malzeme seçeneği	Faz değişim sıcaklığı civarında yüksek entalpi enerjisi	Katı ve sıvı fazda iletkenlik katsayısı kararlılığı
Fiziksel	Çalışma sırasında çok düşük hacim değişimi	Yüksek yoğunluk : yaklaşık 0,9 g/cm <sup>3</sup>	“sub-cooling” yok yada çok az
Kimyasal	Tüm ısı süreçlerde kararlı	Faz geçişlerinde süreklilik	Metal yapılarla uyumlu, zehirsiz, çevreye zararsız
Ekonomik	Ucuz ve kolay temin		

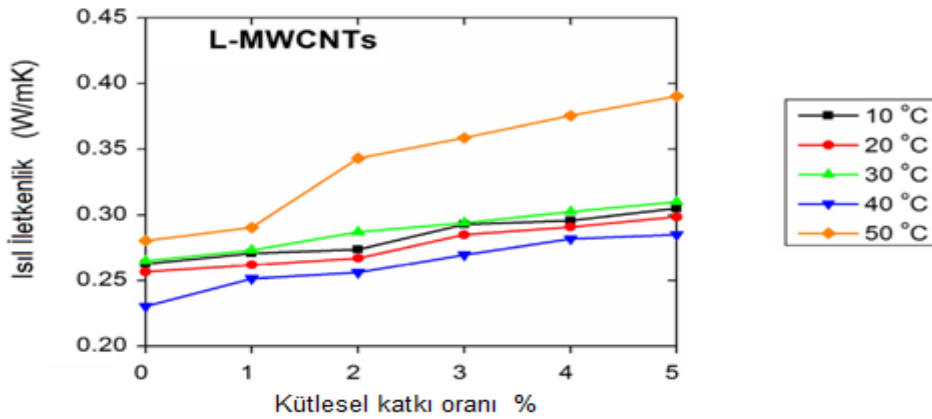
Parafin mumu denilen alkan grubundan hidrokarbon FDM'ler, termal depolama uygulamaları için uygun yüksek erime ısı ve karbon oranına göre düşük erime sıcaklığı gibi istenen özelliklere sahiptir; bununla birlikte, düşük ısı iletkenliği 0.2-0.4 W / m.K 'ye sahiptirler. Bu değerini iyileştirilmesi amacıyla çeşitli yaklaşımlar sunulagelmıştır. Son yıllarda, parafin-mum faz değişken malzemelerin ısı iletkenliğini artırmak için literatürde birkaç çalışma bildirilmiştir. Nanoteknoloji alanında yapılan öncü gelişmelere bağlı olarak, katkı materyali olarak nanoparçacıkların kullanılması konusunda çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılan temel materyallerin ısı iletkenlik ve entalpi özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Literatürler arasında nanoparçacık katkı materyali olarak karbon tabanlı çok katmanlı grafen plakaları ile çok duvarlı karbon nanotüpler ve karbon nano fiberlerin parafin faz değişken malzemesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Karbon dışı katkı maddeleriyle FDM ısı performans iyileştirmelerinde katkı

malzemesi olarak diğerk nanoparçacıklar Al, Cu, Si , CuO, FeO<sub>2</sub>, AgO vb. kullanılmaktadır. Karbon nano plakaların ve nanotüplerin varlığına bağılı olarak FDM'nin ısılı iletkenliğini arttıran başlıca faktörler şunlardır: GNP ve MWCNT'nin kesintisiz ağı oluşturma yeteneğı ve FDM'deki karbon nano parçacıkların kararlılığıının göstergesi olarak yüksek moleküllerarası çekim kuvvetinin sağlanmasıdır. GNP'ların yüksek termal iletkenliğı birçok FDM ısı transferi uygulamaları için tercih edilmektedir. Kumaresan ve ark. göre MWCNT'nin hacim fraksiyonundaki artışla birlikte NP/FDM'nin viskozitesinin anormal arttığını ve pozitif termal etkilerinin azaldığını kaydetmişlerdir. Bu ısılı performans azalması sıvı fazda kendini göstermektedir. GNP çok katmanlı karbon nano plakalar ile karbon nanotüplerinin varlığı, katılama sürecinde kristalize soğuma işlemini başlatan çekirdekleştirici ajan olarak görev yapmakta ve bu nedenle donma sıcaklığıının başlangıcı T<sub>s</sub> değeri, saf FDM 'nin T<sub>s</sub> katılama başlangıç değeriinden daha yüksek olmaktadır. T<sub>s(MWCNTFDM)</sub> >T<sub>s(FDM)</sub>. Buradaki oran karbon nanoparçacık katkı oranı, tipi, kristal yapısı ve ebatları ile doğrudan ilintilidir. Isı iletim katsayısının çok yüksek olması ve faz değışken malzemede etkisini göstermesi, karbon molekülleri arasındaki σ bağı yapıları ve nano tabakalar arasındaki π bağlarının etkisiyle açıklanabilmektedir. Malzemelerin gizli ısılarının modellenmesiyle uğraşan sınırlı miktarda araştırma vardır. Bunların hemen hepsi DSC termal analizi ile deneysel metodları içermektedir. Sadece Israelchvilli ve ark. nın çalışmaları, moleküller arasındaki bağların matematiksel modellenmesine dayanmaktadır. Sayısal modelleme, nano partikül molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri ile parafin FDM molekülleri arasındaki bağı kuvvetlerinin, bir MWCNT katkılı parafinin latent ısısındaki değışimi ifade ettiğini açıklamaktadır. Araştırmalarının sonucu MWCNT ve FDM arasındaki yüzey etkileşimine bağılı olarak füzyonun, gizli ısıdaki değışimin modellenmesini ortaya koymuştur .



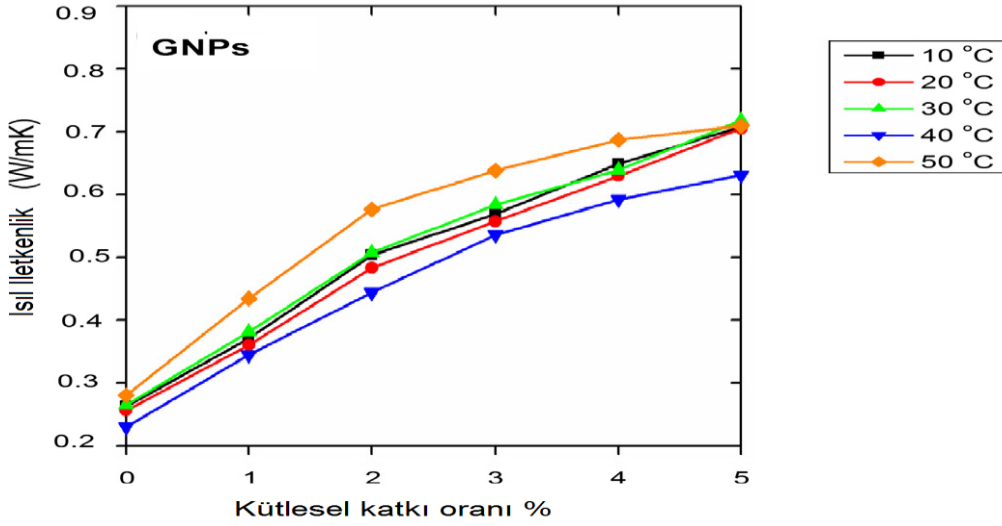
**Şekil 1.1** Literatürlerde bazı karbon tabanlı nano parçacıkların katkı oranına bağlı olarak FDM latent enerji miktarındaki değişimler.

Li-Wu Fan ve ark.'nın çalışmalarına göre FDM'lerde kullanılan karbon nano parçacıkların latent enerjisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. GNP katkılarında 1% oranında bir ani düşme sonrası latent ısı sabit kalmaktadır. Literatürdeki deneylerde kullanılan çok duvarlı karbon nano tüp (MWCNT) parçacık katkılı olduğunda erime ve katılaşmada aynı olmakla birlikte, latent değeri fraksiyon ile sürekli azalma göstermiştir. Karbon nano lifler ise katkı oranı ile birlikte MWCNT lere kıyasla FDM'nin latent değerinde çok az bir azalmaya neden olmuştur.



**Şekil 1.2** Literatürde, MWCNT katkı oranına bağlı FDM nin ısıl iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi.

Isıl iletkenlik katsayılarında MWCNT lerde katkı oranlarına ve sıcaklıklara göre kararlı bir artış görülmektedir. Sadece FDM'nin sıvı faza geçmesiyle birlikte bir ani iletkenlik artışı gözlemlenmiştir.



**Şekil 1.3** Literatürde, GNP katkı oranına bağlı FDM'nin ısıl iletkenliğinin sıcaklıkla değişimi.

Isıl iletkenlik katsayılarında çok katmanlı grafen katkılanan FDM lerde, katkı oranlarına göre ani bir artış gözlenmiştir ve sıcaklıklara göre kararlı olduğu görülmektedir.

**Çizelge 1.2** Literatürde farklı araştırma gruplarınca, Grafen ve MWCNT ısıl iletkenlik performans karşılaştırılması.

20°C, k= W/m.K	Saf	%1	%3	%5	artış %	Referans
GNPs	0,26	0,35	0,55	0,68	161	Li-Wu Fan ve ark.
GNPs	0,36	0,52	0,75			Fazel Yavari ve ark.
GNPs	0,41	0,62		1,1	168	Xin Fang ve ark.
GNPs	0,15	0,175	0,235			Zi-Tao Yu ve ark.
MWCNTs-L	0,26	0,27	0,28	0,30	15	Li-Wu Fan ve ark.



MWCNTs-L	0,24	0,29	0,34			JifenWang ve ark
MWCNTs-L	0,315	0,355	037	0,425	35	J. L. Zeng ve ark.
xGNPs	0,29	0,38	0,57	0,75	159	Sumin Kim, Lawrence T.
NG (nano grafit)	0,36	0,38	0,41	0,46	28	Min Li.
CNF	0,26	0,27	0,275	0,29	12	Li-Wu Fan ve ark.
CNF	0,320	0,398	0,420	0,439	37	Yanbin Cui ve ark.
CNF	0,24	0,26	0,295	0,345	44	Ahmed Elgafy ve ark.
MWCNTs-S	0,26	0,27	0,30	0,33	27	Li-Wu Fan ve ark.

Literatürlerde karbon tabanlı nano parçacıklardan MWCNT çok duvarlı karbon nano tüp ile GNP çok katmanlı karbon nano plakalar karşılaştırıldığında GNP artış oranlarını %5 katkı için 161 % seviyelerinde ve kümülatif artışın ise taban FDM ısı iletkenlik değerine göre değiştiği görülmektedir. MWCNT lerde ise %5 katkı için 20-30 % arasında değişen artış miktarları görülmektedir.

**Çizelge 1.3** Farklı araştırma gruplarınca karbon tabanlı nanoparçacıklar ile üretilen nano parçacık kompozit faz değişken malzemelerin Latent ısı değişimleri

2 °C /dk, DSC	Saf	%1	%2	%3	Referans
MWCNTs, Hm	188.4	-0.96 %	-1.54%	-1.59 %	Tun-Ping Teng ve ark
MWCNTs, Hs	190.3	-0.79%	-2.00%	-2.00%	Tun-Ping Teng ve ark
MWCNTs, Hs	165.3	-0.24%	-0.91%		JifenWang ve ark.
GNPs, Hs	265	-2.26%	-3.77%	-5.66%	Xin Fang ve ark.
GNPs, Hm	143.9	-8.14%	-10.7%	-16.33%	Yin Ju Chen ve ark.

Faz geçiş aşamalarının DSC diferansiyel taramalı kalorimetre cihazında izlenmesiyle ilgili literatürde yapılmış deney sonuçlarına göre erime ve katılaşma işlemlerindeki latent ısı kapasitesinde azalma görölmektedir. Nano parçacık GNP ve MWCNT katkı oranları arttıça latent enerji kapasitesinde olağan bir azalma oluşmaktadır, ancak %2 katkı oranından sonra azalma miktarı ihmal edilebilir seviyelerde bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, herhangi bir yüzey aktif materyali olmaksızın, çok duvarlı karbon nanotüpler ve karbon nano plakalar (grafen) içeren kararlı yapıda parafinlerden oluşturulmuş, ısı verimi yüksek NP/FDM hazırlamak için bir yaklaşım sunmaktır.

Deneysel olarak karşılaştırdığımız üç farklı erime sıcaklığına sahip (42, 62 ve 82 °C) faz değişken malzemelerle, karbon nano tüp ve grafen tabanlı nano parçacıklar ayrı ayrı katkılanarak elde edilen nano parçacık FDM kompozit malzemelerin ısı iletkenlik değerlerindeki değişim KD2 Pro iletkenlik ölçme cihazı ile saptanmıştır. KD2 Pro ısı iletkenlik ölçer, iğne uçlu termik prop üzerindeki sıcaklık sensörleri ile sürekli ve bir boyutlu ısı analizi ile, denge ortamındaki FDM / NPFDM deney numunelerinin içersindeki ısı hareketliliğin zamana bağlı değişiminin sayısal hesaplanması yöntemine dayanmaktadır. Bu parafin faz değişken malzemelerin katkısız saf hali ile herhangi bir nano parçacık katkılanmış hali arasındaki erime-katılaşma ısı performans değerimleri DSC ünitesinde yapılan deneylerle izlenmiştir. Farklı erime sıcaklıklarına sahip saf parafin FDM ile karbon nano tüp ve değişik kalınlıklarda grafen nano parçacık katkılı kompozit FDM lerin sıcaklık ve entalpi değerleri göz önüne alınarak kullanım latent ısı kapasitelerindeki performans değerimleri detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Organik faz değişken malzemeler arasında en çok kullanılan hidro karbon/parafinlerin yüksek latent ısı kapasiteleri nedeniyle ısı uygulamalarda tercih edilmesinden dolayı, düşük olan iletim katsayılarını (0,2 ila 0,4 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) seviyelerinden yukarılara çıkarmamız gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çeşitli deneylerde değişik boyut ve şekillerde karbon nano tüp ve grafen nanoparçacık katkılanması ile ısı iletkenliği artırılırken, latent faz değerim ısı enerji kapasitesinin istenilen değerlerde olması gerektiği baz alınarak incelenmiş ve bu amaç doğrultusunda bilimsel veriler tartışılmıştır. Bu

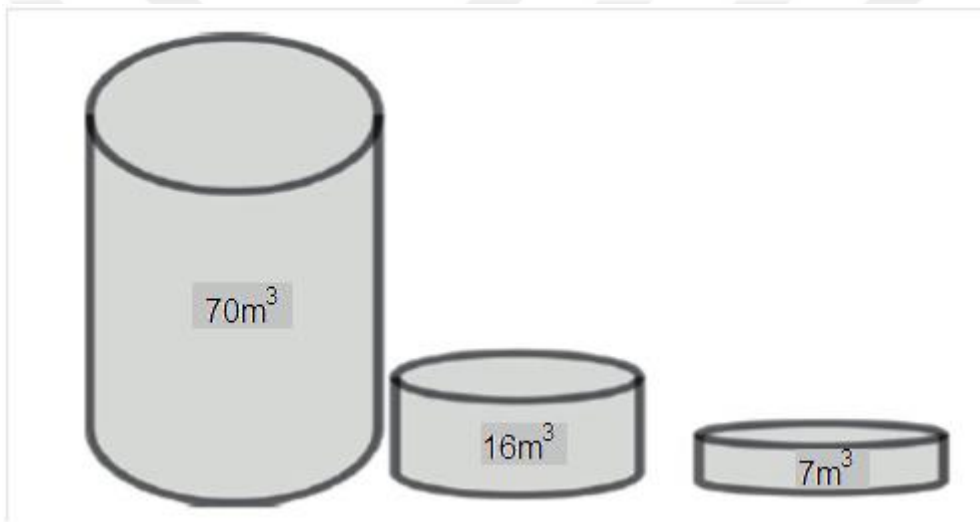
çalışmada saf haldeki üç farklı FDM parafin malzemesi ile katkılanan nano parçacıklar (3 tip çok katmanlı Grafen ve 1 tip Mwcnt) kullanılarak hazırlanan nanoparçacık kompozit FDM numunelerinin termal davranışları karşılaştırmalı incelenerek hangi sektörel alanlarda ve ısıl özelliklerde uygulanacağına yönelik deneysel ve metodik bir yaklaşım sunulmuştur. NP/FDM kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerini değiştirerek sürekli formda ısıl performansını iyileştirmek mümkündür. Farklı konsantrasyonlarda katkılanan karbon tabanlı nanotüp, grafen nanoplate türü malzemeler ile daha yüksek ısıl iletkenlik sonuçları alınabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda 1% ila 5% kütleli oranlarında katkılanan nanoparçacıklar, FDM lerin ısıl iletkenliklerini, karbon nanotüplerde 30% ila 50% arasında artırmıştır. Grafen türü nanoparçacıklarda ise ısıl iletkenlik 2 - 3 kat mertebelerine ulaşmıştır. Çok katmanlı ve çok ince grafen yapıları ısıl direnci artıracığından, FDM lere daha kalın ve birkaç katmanlı grafen katkılanması durumunda bu oran daha da artacaktır. GNP nano plaka kalınlığı ve yüzey alanlarının optimum seviyelerde olması gerekmektedir. MWCNT lerde nano tüp boyutu, duvar sayısı ve kalınlığı aynı GNP lerde olduğu gibi katkılanıldığı ortamın ısıl iletkenlik katsayısı değerinde belirleyici öneme sahiptir. FDM lerde kullanılan karbon nano parçacıkların tipolojisi ve boyutları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

FDM nano parçacık kompozit yapıları, içerisine istenilen şartları sağlayan derişimlerde 1-100nm çap yada çeper kalınlıklarında nanoparçacık madde katkılanan değişik erime sıcaklıklarına sahip Parafin ( $C_nH_{2n+2}$ ) ile oluşturulan kompozit malzemelerdir. Bizim karşılaştırdığımız üç farklı erime sıcaklığına sahip (42, 62 ve 82 °C) faz değişken malzemelerle karbon nano tüp ve grafen tabanlı nano parçacık katkılanarak birleştirilmiş nano parçacık kompozit malzemenin ısıl iletkenlik değerlerindeki değişim KD2 Pro iğne uçlu aksel ölçme cihazı ile saptanmıştır. Bu parafin malzemelerin katkısız saf hali ile herhangi bir nano parçacık katkılanmış kompozit hali arasındaki ısıl performans değişimleri DSC ünitesinde yapılan deneylerle saf FDM' nin ve nano kompozit FDM' nin sıcaklık ve entalpi değerleri ile kullanım latent ısı kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Genellikle FDM ler üç gruba ayrılırlar; Organik , inorganik ve ötektik tuzlar olarak bilinirler. En çok kullanılan faz değişken malzemeler ( $C_nH_{2n+2}$ ) organik parafin bazlı

ve istenmeyen kimyasal etkileşimleri olmayan antikorozyon özelliklerine sahiptir. Karbon ve hidrojen elementlerinin bir bileşimi olan organik FDM ler içerisinde barındırdıkları karbon atom sayısına bağlı olarak değişik erime sıcaklıklarına sahiptir

Bir malzemenin sıcaklık artışı ile enerji depolama potansiyeli 1). Duyulur ısı enerji, 2). Latent (faz değişim enerjisi) ve 3). Termokimyasal katalitik enerji olmak üzere üç ana kısımda değerlendirilebilir. Örnek olarak bir faz değişken malzemede 1000 MJ enerji hareketliliği sağlamak için gereken malzeme miktarı her üç durum için değerlendirilmiştir.



Duyulur ısı enerji	Latent enerji	Termokimyasal enerji
100 MJ/m <sup>3</sup>	400-500 MJ/m <sup>3</sup>	1000 MJ/m <sup>3</sup>

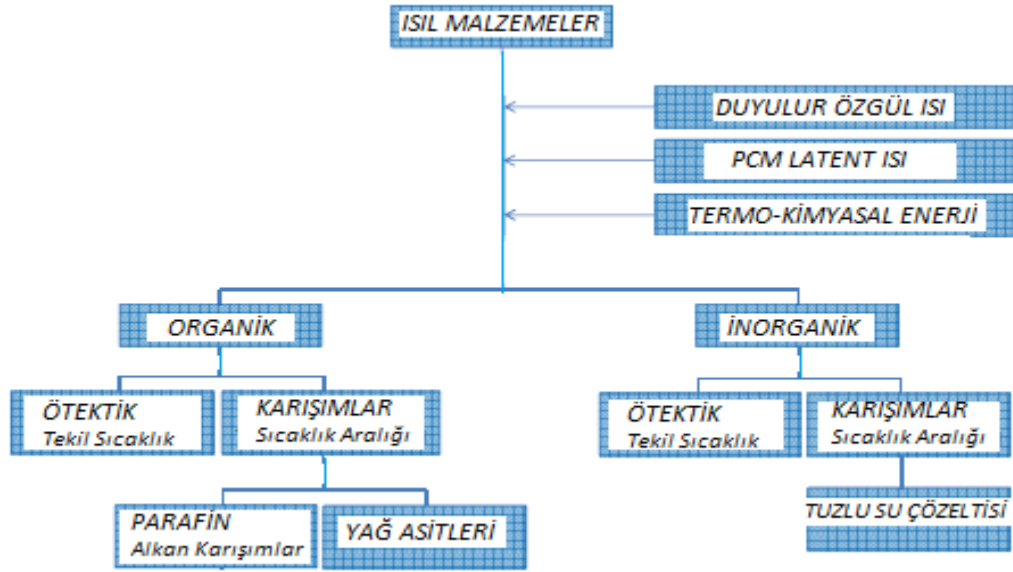
Şekil 1.4 Faz değişken malzemelerin ısı kapasiteleri

Bu malzemelerin saf olarak kullanılması durumunda faz değişim latent enerjisinin erime ve donma fiziksel şartlarına bağlı olarak kullanımı sırasında, depo ve geri salım enerjilerinin yüksek olması bu alandaki araştırmamızın birincil nedenidir. Fakat söz konusu latent enerjilerin yüksek olmasının yanı sıra bu **ısı enerjisini depolama hızı** ve **geri salım hızının** düşük olması nedeniyle uygulamalarda büyük bir handikap oluşturmaktadır. Yapılan deneylerde kullanılan saf A42, A62 ve A82 organik FDM' lerin yaklaşık oda sıcaklığında, ısı iletim katsayıları 0.21, 0.25 ve

0.31 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadaki asıl amacın (k) ısı iletim katsayılarını artırırken, latent enerjilerinin de düşmemesi veya makul seviyelerde kalmasını sağlamak olduğu çok açıktır. Bu değerlerin hangi oranlarda ve hangi nano parçacıklar kullanıldığında, ne düzeylerde artacağını deneysel ve kesin olarak belirlenmesi son derece önem taşımaktadır. Bu doğrultuda yapılan deneysel çalışmalarda kullandığımız karbon tabanlı çok katmanlı plakalar (GNP) ile çok duvarlı karbon nano tüpleri (MWCNT) çeşitli oranlarda homojen olarak katkılanarak, parafin (A42, A62 ve A82) FDM ler üzerindeki ısı iletim katsayıları ve latent enerji kapasitelerinin nasıl değiştiği, katkılanan karbon nano parçacığın geometrisi, çok duvarlı silindirik (Mwcnt) veya çok katmanlı dikdörtgen yüzey alanlı (Gnp) gibi etkenlere bağlı olarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

**Yüksek yüzey alanına** ve dolayısıyla **yüksek ısı iletim katsayısına** sahip olan karbon tabanlı nanoparçacıklar; birkaç katmanlı grafen nano plakalar, çok katmanlı grafen nanoplakalar ve çok duvarlı karbon nanotüpler 1%, 3% ve 5% oranlarında kullanılarak termal özelliklerinin nanoparçacıkların yüzey geometrisine bağlı değişimi incelenerek bir ısı iletim model yaklaşımı ortaya konulmuştur.

Faz değişken malzeme (FDM) ler, doğal yada yapay olarak ısı enerjisine maruz kaldıklarında katıdan sıvıya, sıvıdan gaz haline geçerken (faz değiştirirken) önemli miktardaki (100-300 kJ/kg mertebelerinde) ısı enerjisini kullanmaktadırlar . Bu ısı sürecinde malzemenin moleküler yapısı değişmeden onların kinetik enerji ve dolayısıyla momentumlarının artması ile moleküller arası mesafeler artmaktadır. Moleküller arası bağların oluşmasını sağlayan kuvvetlerin azalması, katı halden sıvıya veya sıvıdan gaz haline geçişi tanımlamaktadır. FDM'nin ısı enerjisi almış olması moleküler seviyedeki momentuma karşılık gelmektedir.



**Şekil 1.5** Faz değişken malzemelerin sınıflandırılması

FDM ler, erime sıcaklıklarına bağlı olarak organik , inorganik ve metaller ile bunların ötektik kimyasal karışımları şeklinde doğal veya yapay olarak kullanıma sunulmaktadır.

**Çizelge 1.4** Organik, inorganik ötektik ve karışım FDM lerin fiziksel özellikleri

Faz Değişken Malzemeler	TİPİ	T erime	Faz geçiş	Isıl	faz	T	Yoğunluk	faz	T
		sıcaklığı	ısısı	iletkenlik					
		[C]	[kJ/kg]	[W/m.K]		[C]	[kg/m <sup>3</sup> ]		[C]
<b>Hidrokarbon-Parafin / Faz değişken materyali</b>									
n-Tetradecane C14H30	Organik/ Parafin	6	230	0.21	Katı		760	Sıvı	20
n-Pentadecane C15H32	Organik/ Parafin	10	212	0.21	Katı		770	Sıvı	20
n-Hexadecane C16H34	Organik/ Parafin	18	210	0.21	Katı		760	Sıvı	20
n-Heptadecane C17H36	Organik/ Parafin	19	240	0.22	Katı		776	Sıvı	20
n-Octadecane C18H38	Organik/ Parafin	28	200	0.148	Sıvı	40	774	Sıvı	70
				0.358	Katı	25	814	Katı	20
n-Eicosane C20H42	Organik/ Parafin	38	283	0,21			779		

A42	Organik/ Parafin	42	105	0,22				775
A62	Organik/ Parafin	62	145	0,25				790
n-Triacontane C30H62	Organik/ Parafin	66	145	0,25				800
n-Tetracontane C40H82	Organik/ Parafin	82	155	0,3				850
n-Pentacontane C50H102	Organik/ Parafin	95	205	0,36				900

#### Yağ asiti / Faz değişken materyali

Caprylic acid CH3(CH2)6COOH	Organik/ Yağ asiti	16	149	0.149	Sıvı	38	901	Sıvı	30
							981	Katı	13
Capric acid CH3(CH2)8COOH	Organik/ Yağ asiti	32	153	0.149	Sıvı	40	886	Sıvı	40
							1004	Katı	24
Lauric acid CH3(CH2)10COOH	Organik/ Yağ asiti	42-44	178	0.147	Sıvı	50	870	Sıvı	50
							1007	Katı	24
Myristic acid CH3(CH2)12COOH	Organik/ Yağ asiti	58	186	0.17	Katı		861	Sıvı	55
							990	Katı	24

#### Şeker alkolü / Faz değişken materyali

Erythritol C4H6 (OH)4	Organik/ glukoz	120	340	0.326	Sıvı	140	1300	Sıvı	140
				0.733	Katı	20	1480	Katı	20

#### Su ve Tuz çözeltisi / Faz değişken malzemesi

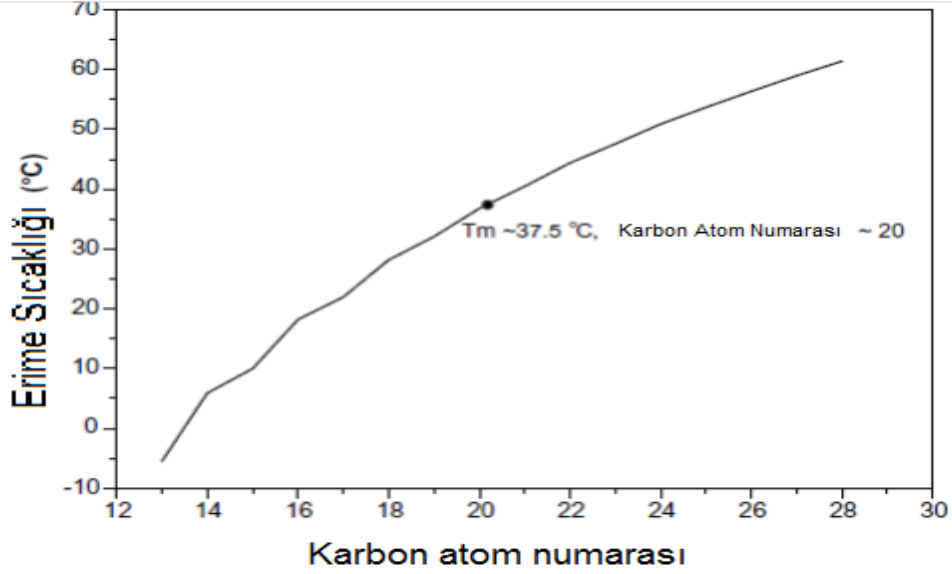
CaCl2·6H2O	Ötektik / karışım	29, 30	171	0.540	Sıvı	39	1562	Sıvı	32
				1.088	Katı	23	1710	Katı	25
Mg(NO3)2·6H2O	Ötektik / karışım	89, 90	149	0.490	Sıvı	95	1550	Sıvı	94
				0.669	Katı	56	1636	Katı	25

#### İnorganik / Faz değişken malzemesi

H2O	İnorganik	0	333	0.6	Sıvı	20	998	Sıvı	20
				2,2	Katı	-10	917	Katı	-10
Na2HPO4 .7H2O	inorganik	48	281	0.514	Katı	32	1520	Katı	
				0.476	Sıvı	49	1442	Sıvı	
Mg(NO3)3 .6H2O+NH4NO3	inorganik	52	125.5	0.494	Sıvı	65	1515	Sıvı	65
				0.515	Sıvı	88	1596	Katı	20

### İnorganik karışım / Faz değişken malzemesi

58.7 % Mg(NO <sub>3</sub> )·6H <sub>2</sub> O+	Ötektik /	58, 59	132	0.510	Sıvı	65	1550	Sıvı	50
41.3 % MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	karışım			0.678	Katı	53	1630	Katı	24



**Şekil 1.6** FDM alkan parafinlerin karbon atom numarası ile erime sıcaklık değişimi.

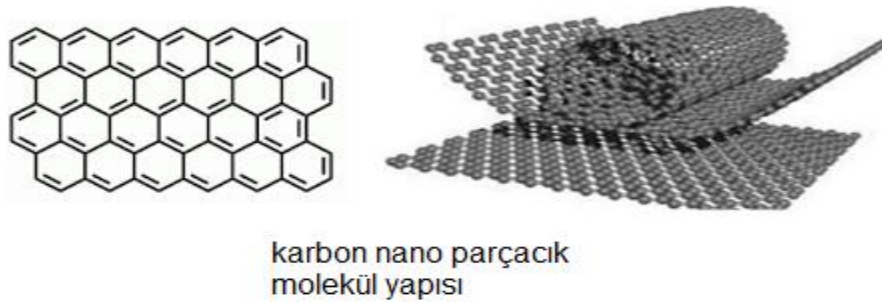
Parafin Alkan FDM türlerinin bileşik molekül yapısı  $C_nH_{2n+2}$  olarak tanımlanmıştır. Karbon atom sayısının artması ile alkan organik bileşiğin erime sıcaklığı  $T_m$  artmaktadır. Grafikten  $C_{12}H_{26}$  hidrokarbon FDM' nin ( $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) de eridiği ,  $C_{20}H_{42}$  ' nin erime sıcaklığı ise  $T_m=37.5 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğu görülmektedir.



## 2. MATERYAL ve METOD

### 2.1. Grafen ve karbon tabanlı nano parçacıkların özellikleri

Nano karbon malzemeler, grafitin atomik tabakaları olarak altıgen şeklinde esnek bağ yapısıyla karbon atomlarının bir tabakası şeklinde yayılmış plakalar ya da silindir formunda nano tüpler olarak kullanılmaktadır. Tipik bir karbon nano parçacık plan ya da silindir formunda üç boyutlu olarak kendini tekrarlayan altıgen karbon atomlarının birleşiminden oluşmaktadır. Grafen GNP ve MWCNT lerin temel özellikleri aynıdır ve bir düzlem içerisinde birbirlerine 120° açılı orbitallerle karbon atomları güçlü bir  $\sigma$  kovalent bağ oluşturmaktadır. Katmanlar arasında ise biraz daha zayıf  $\pi$  bağları ile üç boyutlu katmanlı grafen oluşmaktadır. Grafen plakalarının eğrileştirilmesi ile MWCNT formunda  $\pi$  ve  $\sigma$  bağlarının birlikte  $sp^2$  yapısıyla hibrit bağ oluşturmaktadır. Karbon atomunda bulunan  $1s^2$  iç orbitalinde 2 elektron olmakla birlikte, dış orbitalinde  $2s^2$  ve  $2p^2$  olmak üzere 4 serbest elektronu bulunmaktadır. Bunlardan üçü ile diğer karbonlarla bağ oluşturur diğer 1 elektron ise daima serbest kalır. Karbon bağları arasında İç içe düz katmanlar şeklinde ya da iç içe silindirik katmanlar şeklinde  $\pi$  bağları oluşturur. Karbon altıgen atomik yapısı ısı farklarından dolayı yapısal deformasyona uğramış dalgalı bir yapıda bulunmaktadır. Son yapılan araştırmalara göre karbon- karbon bağlarının çok güçlü olmasından dolayı sözkonusu termal dengesizliklerin minimum olduğu kabul edilmektedir.



**Şekil 2.1** Solda, grafen plakası ve sağda, nano tüplerin moleküler yapısı.

MWCNT ve GNP lerin iletkenliklerinin  $\times 10^3$  düzeylerinde olması, dış  $\pi$  bağlarının oluşumunu sağlayan elektronlarıdır. Tek katmanı ortalama 0,35 nm olan grafitten kimyasal buharlaştırma yöntemiyle elde edilen düz plakaların sayısına bağlı olarak kalınlıkları belirlenmektedir. Deneyleerde kullanılan nano parçacıklar Grafen ve MWCNT ler 99,5+ % karbon oranı ve istenilen teknik özelliklerine uygun satın alma işlemi gerçekleştirilerek temin edilmiştir.

**Çizelge 1.5** Deneyleerde kullanılan grafen ve karbon nano parçacıkların fiziksel özellikleri.

Karbon Nano Parçacık	Materyal kalınlığı	II bağları sayısı	Temas yüzey alanı	Uzunluk	Üretici firma
GNP	1-5nm	4-15	500-750 m <sup>2</sup> /g	0,5-2µm	S S
GNP	6-8nm	10-25	120-150 m <sup>2</sup> /g	5-24µm	Nano
GNP	11-15nm	30-40	80-100 m <sup>2</sup> /g	15-30µm	Sky
MWCNT	50-80nm	40-90	60-70 m <sup>2</sup> /g	10-30µm	Springs

Nano parçacık bakır ve silikon ısı iletkenlik katsayıları, 145 ve 311 W/m.K değerlerinde olmasına karşın, katı karbon tabanlı MWCNT ve GNP parçacıklarının ısı iletkenlik katsayıları 3000 W/m.K değerindedir ve yaklaşık olarak metallere 10 kat daha yüksektir. Bir faz değişken malzemeye katıldığında yüksek iletkenlik değeri elde edebilmek için karbon temelli nano parçacıkların üç boyutlu geometrik yapıları ve boyut ölçülerinin optimum olması gerekir. Çok küçük ya da çok büyük parçacıklar efektif sonuçlar getirmeyebilir.

## 2.2. Faz değişken malzemelerin nano parçacık katkılanarak, termal kompozit deney numunelerinin hazırlanması, numunelerin üretimi

FDM parafin ve nano parçacık katkılı parafin malzemelerin ısı kapasitelerinde, sıvı faza geçerken  $(\Delta H)_e$  ve katılaşıma sırasında  $(\Delta H)_k$  değerlerindeki değişimlerin ve kompozit NPFDM lerin  $k$ , ısı iletkenliklerinin nano parçacık katkı oranı ve katkılanan FDM türüne göre etki derecesini incelemek üzere deney numuneleri hazırlandı.

**Çizelge 1.6** Deneylerde Kullanılan Faz Değişken Malzemelerin Fiziksel Özellikleri.

Faz Değişken Malzeme	Erime sıcaklığı	Katı halde yoğunluğu	Gizli Isısı (Latent)	Üretici Firma
A42	42 °C	0,905 gr/cm <sup>3</sup>	105 kJ/Kg	Plus Ice PCM
A62	62 °C	0,910 gr/cm <sup>3</sup>	145 kJ/Kg	Plus Ice PCM
A82	82 °C	0,850 gr/cm <sup>3</sup>	155 kJ/Kg	Plus Ice PCM

Öncelikle iletkenlik ölçmek amacıyla A42, A62 ve A82 parafinleri için 30mm çapında 150mm uzunluğunda iki ucu açık fiberglas tüp, özel bir metal platforma oturtulmuştur. Metal platformun orta noktasında, aksenal olarak 100mm uzunluğunda ve 2mm çapında metal çubuk monte edilmiştir.

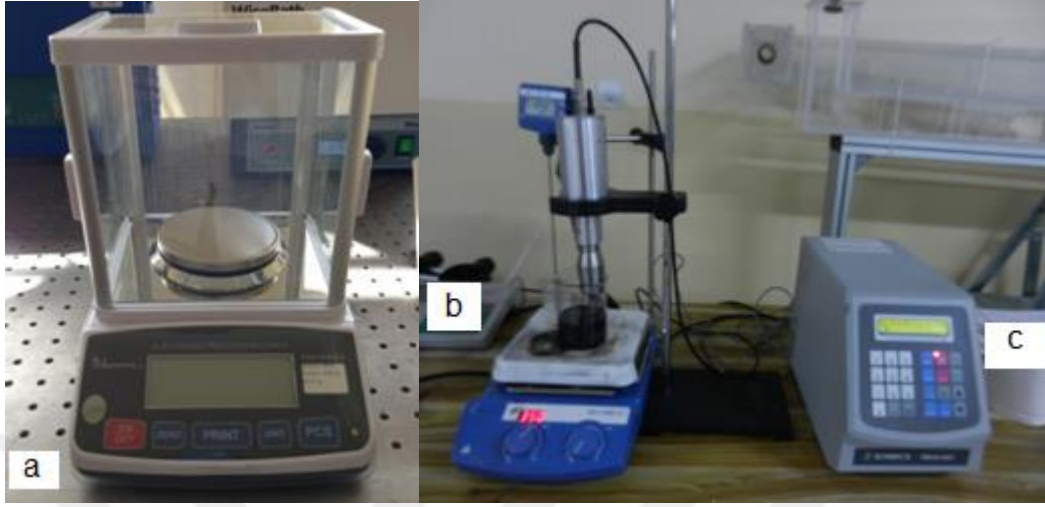
Saf A42, A62 ve A82 parafinlerden 85gr ve nanoparçacıklardan yüzdelik katkılarına göre 1% için  $f=1$  ve

$$w = \frac{f \times 85}{(100 - f)} \text{ oransal hesaplamasından } w=0,859\text{gr}$$

3% katkı için,  $w=2,629\text{gr}$  ve 5% için ise  $w=4,474\text{gr}$  nano parçacık eklenecektir.

Tartım işlemini 0,01mg hassasiyetli elektronik terazide gerçekleştirilip 85gr katı parafin parçaları bir beher içersine alınarak derece kısıtlamalı ısıtıcı üzerinde erime işlemine tabi tutulduktan sonra, oransal miktarına göre tartılıp hazırlanan karbon

nano parçacıklar eriyik üzerine yavaşça aktarılır. Nano ölçekte parçacıkların ortam havası ile solunma itimalini yok etmek için aktarma işlemi maske ile yapılır.



**Şekil 2.2** a).Nano parçacıkların ve FDM lerin tartım işleminin yapıldığı hassas terazi, b). FDM ve nanoparçacıklar için sabit sıcaklıkta ısıtıcı platform ve sonikatör probu. c). Sonikatör

Oluşturulan karışım içerisindeki FDM parafinin erime sıcaklığının çok az üzerinde sabit bir sıcaklıkta tutularak 30 dakika süresince sonik karıştırma işlemi uygulanır. (Sonics-Materials INC, USA). Homojen karışım elde etmek için sonik işlemden hemen sonra birkaç dakika karıştırıcı çubuk ile mekanik karıştırılır.



**Şekil 2.3** a). FDM parafinlerin ve NPFDM kompozitlerin eritilerek döküm işlemi gerçekleştirilen silindirik kalıp.

Sıvı nano parçacık FDM kompozit karışım özel bir silindir numune kalıp içerisine ortam sıcaklığında donmak üzere dökülür. Ölçüm için gerekli numune boyu minimum 120mm ve çap standartı 30mm olmalıdır. Yaklaşık 150mm yüksekliğindeki fiberglas silindirin 130-140mm'lik kısmına kadar sıvı ilave edilir. Kalıp içerisinde donma işlemi öncelikle ilk temas yüzeylerinden; alt ve çeperlerden başlayacağı için sıvı hareketliliği kalıp eksenini boyunca yerçekimine doğru oluşmaktadır.

Kalıp eksenini boyunca oluşan kütle boşluk, beher içerisinde sıvı olarak tutulan karışımdan eklenerek tamamlanır. Bu süreç numunenin kalıp içerisinde düz bir tepe yapması için ısı transferi ve zaman ilişkisi pratiği dikkate alınarak tüm kalıp hacminin izoterm(eş sıcaklık) olarak donması sağlanmalıdır.



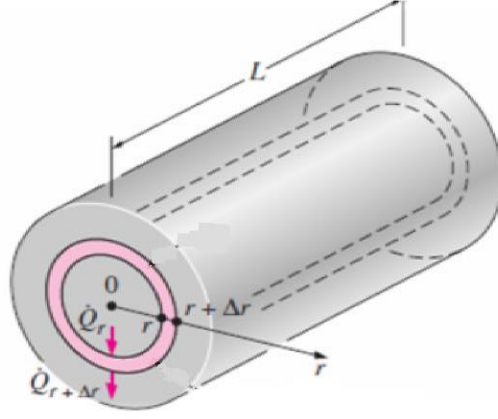
**Şekil 2.4** NP/FDM'lerin ısı iletkenliklerinin test edildiği ısı iletkenlik ölçer KD2 PRO

Tam donma oluştuktan sonra yaklaşık 1-2 saat düşük sıcaklıkta, 0 °C civarında nem şartlandırma kabini (JeioTech) içerisinde tutularak kalıptan ayrılması kolay olması amacıyla biraz daha katılaştırılması ve hacminin küçülmesi sağlanır. Bu işlem sonrasında numuneler kalıptan çıkarılarak 2.4mm çapında, 100mm uzunluğunda eksen boyunca prop ölçümü için yuva açılır. Bu çap ve uzunluk, yukarıda da sözkonusu edildiği gibi KD2 pro iletkenlik ölçer cihazının sensör çubuk boyutlarıdır.

KD2 Pro cihazı numune ölçüm çubuğunda belirli bir zaman aralığında aralıklarla üretilen ısı impuls etkisiyle, iğne uçlu termik prop üzerinde oluşan termokupl sıcaklık değişimi hesaplamasına dayalı sayısal kontrollü iletkenlik katsayısı ölçerdir. Isı iletkenlik ölçümü esnasında sürekli ve bir boyutlu ısı analizi ile denge ortamındaki FDM / NPFDM deney numunelerinin içersindeki ısı hareketliliğın zamana bağılı değişiminin sayısal hesaplanması yöntemine dayanır. Kısa süreli ısı impuls ile gerçekleşen sıcak tel yöntemi, uç etkileri minimize etmek üzere uzunluk/çap oranı (L/D) çok yüksek seçilen tel-çubuğa uygulanan doğrusal ısı kaynağı sonucu tel-çubukta meydana gelen sıcaklık değişim ölçümlerinin zamanın bir fonksiyonu olarak değerlendirilmesi sonucu numunenin ısı iletkenlik performansı analitik olarak ortaya konmaktadır. Fourier yasasına göre KD2 Pro ile yapılan iletkenlik testi sırasında numunenin ısı iletkenliğinin değeri ile, ısı verilen tel-çubuk'ta oluşan sıcaklık değişimi doğru orantılıdır. Isı iletkenliği yüksek olan numunelerde çok açıktır ki, ölçüm probu üzerinde sıcaklık değişimi azalır. Buna karşın ölçülen numunenin ısı iletkenliği düşük ise numune ısıyı radyal doğrultularda soğuramadığından prob üzerindeki sıcaklıklar sürekli artmaktadır.

Deney numunesi içersindeki prob üzerinde üretilen ısı impulsların, zamana göre sıcaklık fonksiyonunun silindirik koordinatlarda bir boyutlu olarak ifade edilebilmesi için probun uzunluk / çap ; L/D oranı çok yüksek olmalıdır. Probun etkin tel-çubuk uzunluğu L=100mm ve çapı Ø= 2.4mm dir. L değeri Ø değerinin yaklaşık 40 katı olmaktadır.

Dolayısıyla ölçüm probu uzunlama eksenı boyunca her iki ölçüm noktası için sıcaklık denkleminin silindirik koordinatlardaki şekli kullanılmaktadır.



$$\dot{Q}_r - \dot{Q}_{r+\Delta r} = \frac{\Delta E_{\text{element}}}{\Delta t}$$

$$\Delta E_{\text{element}} = E_{t+\Delta t} - E_t = mC(T_{t+\Delta t} - T_t) = \rho CA\Delta r(T_{t+\Delta t} - T_t)$$

$$\dot{Q}_r - \dot{Q}_{r+\Delta r} = \rho CA\Delta r \frac{T_{t+\Delta t} - T_t}{\Delta t}$$

$$-\frac{1}{A} \frac{\dot{Q}_{r+\Delta r} - \dot{Q}_r}{\Delta r} = \rho C \frac{T_{t+\Delta t} - T_t}{\Delta t}$$

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \frac{\dot{Q}_{r+\Delta r} - \dot{Q}_r}{\Delta r} = \frac{\partial \dot{Q}}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left( -kA \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

Silindir şeklindeki r yarıçaplı L uzunluğundaki KD2Pro tel-çubuk üzerindeki ısı ve sıcaklık denklemleri elde edilir. Çubuk üzerindeki sıcaklık denklemi, sınır koşulları ile çözümlenir ise  $T(t=0) = T_0$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=\infty} = 0 \quad \text{ve} \quad \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = \frac{q}{2\pi k}, \quad k = \frac{q \ln(t_1/t_2)}{4\pi (T_1 - T_2)}$$

Eşitlik içerisinde tanımlanan her bir terim sırası ile;

k: Ölçümü yapılacak FDM veya NPFDM' nin ısı iletkenliği,

q: KD2 Pro iğne uçlu ölçüm probuna verilen ısı yükü,

T<sub>1</sub>: t<sub>1</sub> anında ölçülen sıcaklık

T<sub>2</sub>: t<sub>2</sub> anında ölçülen sıcaklık

FDM kompozit numuneler, KD2 Pro cihazı için ısı iletkenlik ölçümüne hazırlanır ve istenilen sıcaklık ve nem değerlerinde, şartlandırma kabini (JeioTech) içerisinde sabit pozisyonda tutma aparatına oturtularak ölçümlere başlanır.



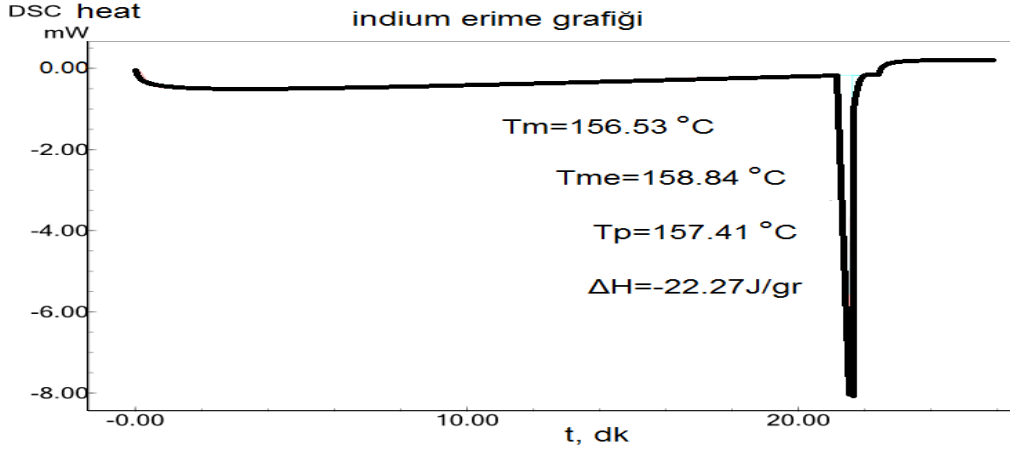
**Şekil 2.5** JeioTech, iletkenlik ölçümleri için sabit sıcaklık ve nem şartlandırma kabini

Her ölçülen k değeri, ısı iletkenlik ölçümünün tekrar aynı denge sıcaklık şartlarında gerçekleşebilmesi için 15 dakika ara ile otomatik olarak 5 kez alınır. Deney sonuçlarında dikkate alınan bütün k değerleri için 5 ölçümün aritmetik ortalaması geçerlidir. Her ölçüm için sabit sıcaklıkta, kabul edilebilir sıcaklık sapması  $\pm 0,3$  °C' ye kadar olabilir. Örneğin 20 °C' de yapılan ölçümler 19,7 °C ila 20,3 °C dışına çıkamaz. Yapılan ölçümlerin hata hassasiyet oranı ise 0,00\*\* seviyelerinde, maksimum 1% olmaktadır.

NP-FDM lerin erime ve katılma sırasındaki ısıl performanslarını ve tekrar katılma ve erime işlemlerlerini incelemek amacıyla DSC (diferansiyel taramalı kalorimetre) ünitesinde yapılan deneylerde kullanılmak üzere yaklaşık 4-5mg ağırlığındaki DSC pan numunelerinin hazırlanması gerekmektedir. Pan alüminyum tava yaklaşık 13mg ağırlığında ve pan kapağı ise 6mg civarındadır. DSC ile ilgili bu tartımlar  $\pm 0,01$  mg hassasiyetli elektronik terazide gerçekleştirilmiştir. (Shimadzu Corp. Japan). Tartımı yapılan 4mg FDM ve NP/FDM ler alüminyum pan tava



içerisine konulup özel sofistike bir numune presleme aparatı ile üzerine pan kapağı preslenerek kapalı bir şekilde hazırlanmıştır. Erime ve enerji depolama performanslarının DSC’de analiz edilmesinden önce DSC’nin kalibrasyonu yapılmıştır.



Yüksek saflıkta standart indium numunesi ile DSC kalibrasyon değerleri izlenmiştir. FDM lerin ve nano parçacık katkılı FDM lerin DSC analizleri yapılırken 2 °C/dk hızında ısıtma-soğutma yükü uygulanacak şekilde, her ölçüm analizi 3 kez tekrarlanarak ortalama değerleri alınmıştır. DSC’nin ısı yükü hassasiyeti  $\pm 0,01$  Joule ve sıcaklık toleransı ise  $\pm 0,1$  °C dir. DSC programında erime ve katılaşma çevrimleri A42 ve NP/A42 için (5 °C) ile (60 °C) aralığında, A62 ve NP/A62 için (25 °C) ile (80 °C) aralığında, A82 ve NP/A82 için (30 °C) ile (110 °C) aralığında gerçekleştirilmiştir. Tam erime gerçekleşip maksimum sıcaklığa eriştikten sonra 3 dk DSC bekleme süresi verilmiş ve soğuma süreci başlatılmıştır.

DSC’nin istenilen sıcaklık hızı 2 °C/dk ile çalışabilmesi için ısı denge koşulları gaz nitrojen ile gerçekleştirilmiştir. Nitrojen tüp çıkış gaz basıncı 5 bar ve akış debisi 50ml/dk olarak ayarlanmıştır. Analiz için DSC 60W programı çalıştırılarak ısı-zaman eğrisi 500 scala ölçeğinde manipüle edilerek erime ve katılaşma başlangıç ve bitiş sıcaklıkları ile pik sıcaklıkları saptanmış, latent erime ve katılaşma enerjileri analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler 3 kez ayrı zamanlarda tekrarlanarak her bir parametre için aritmetik ortalama değerleri alınarak grafikler ve tablolarda ifade edilmiştir.

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

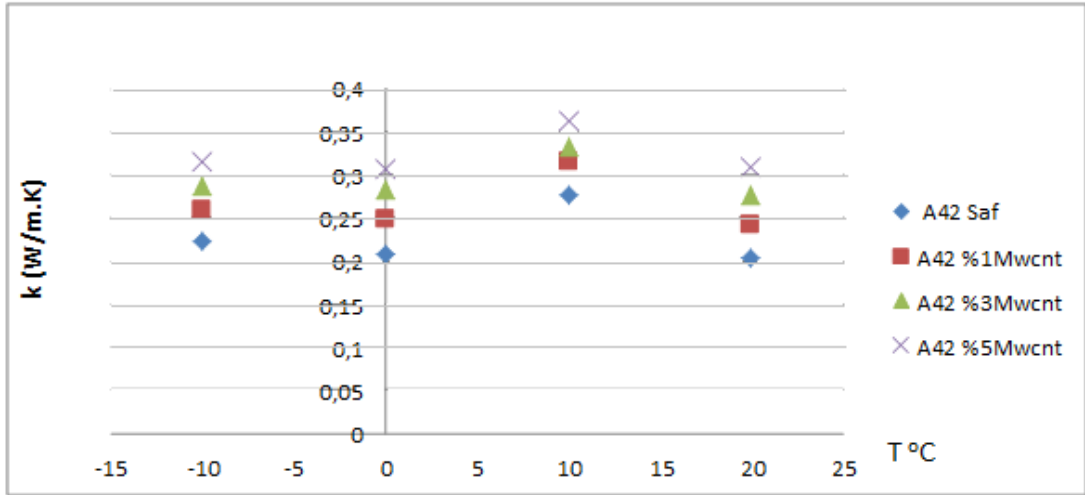
#### 3.1 Üç farklı faz değişken malzemenin sıcaklığa bağlı olarak değişen ısı iletkenlik testleri

Deney numuneleri 30mm çapında ve 120mm uzunluğunda silindirik kaplarda hazırlanan A42, A62 ve A82 saf parafin FDM ler ve nano parçacık katkılı NPFDM lerin ısı iletkenlik değerleri Şekil 3.1’de gösterilen KD2 Pro ısı iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Deney numunelerimiz organik parafin A42, A62 ve A82 FDM lerin saf halleri ile 1%, 3% ve 5% oranlarında (50-80)nm çapında MWCNT katkılı kompozit halinin ısı iletkenlik katsayılarındaki değişim incelenmiştir. Bu ölçümler Jeio-Tech sıcaklık ve nem şartlandırma kabini içerisinde sürekli rejim halinde -10, 0, 10, 20 ve 30° lerde gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm 15 dakika arayla 5 kez sabit şartlarda yapılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Isıl iletkenlik ölçüm hassasiyeti  $k \pm k/100$  olarak göz önünde tutulmuştur. Yaptığımız ölçümler arasında hassasiyetin  $\pm 1\%$  ve daha iyi olduğu değerler değerlendirmeye dahil edilmiş, hassasiyetin  $\pm 1\%$  den büyük olduğu ölçümler tekrarlanmıştır.

**Tablo 3.1** Saf A42 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A42 FDM’nin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla (-10 ila +20) değişimi.

A42	SAF			A42 %1 mwcnt			A42 %3 mwcnt			A42 %5 mwcnt		
	T	k		T	k		T	k		T	k	
	-10	0,222		-10	0,259	%17	-10	0,287	%29	-10	0,315	%42
	0	0,207		0	0,249	%20	0	0,283	%37	0	0,308	%49
	10	0,277		10	0,316	%14	10	0,332	%20	10	0,363	%31
	20	0,204		20	0,242	%19	20	0,276	%35	20	0,309	%52

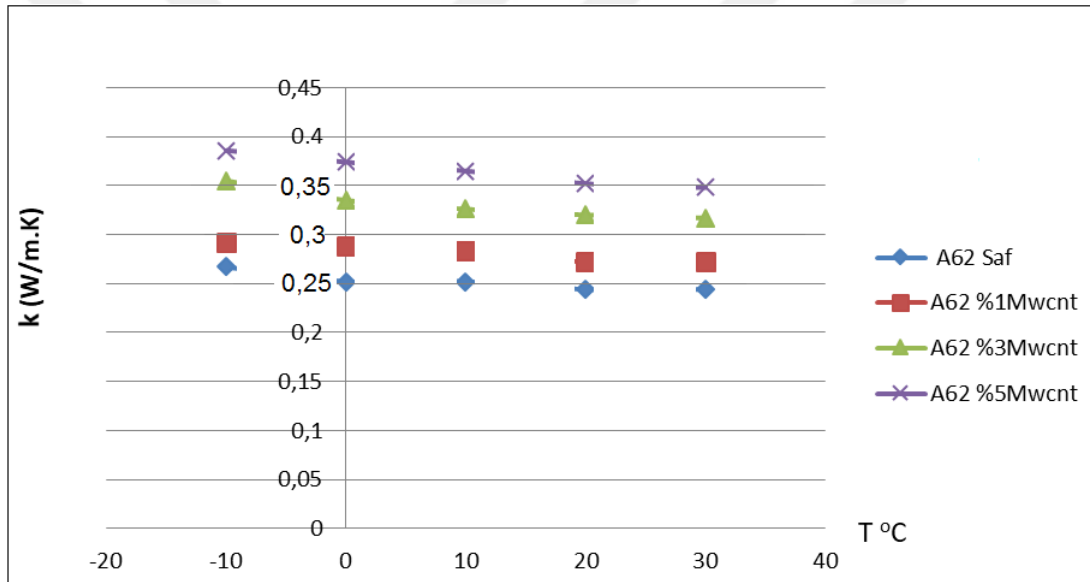


**Şekil 3.1** Saf A42 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A42 FDM'nin ısı iletkenlik değ erlerinin sıcaklıkla değ işimi.

A42 parafin FDM için -10 dereceden +20°C ye kadar sabit sıcaklıkta ölçüm yapılmıştır. A42'ye özgü ısı iletkenlik katsayısı, saf haldeyken standart ölçüm yaptığımız +20 derecede **k=0,204** iken diğ er sıcaklıklarda -10°C de %9 artış ile k değ eri 0,222, 0°C de %1,5 artışla k değ eri 0,207 ve +10°C de %36 oranında bir artışla k değ eri 0,277 olarak tespit edilmiştir. Saf A42'nin ısı iletkenliğ inde +10°C' deki bu ani artış, A42 FDM'ye karbon nano parçacık katkıladığımızda da aynı şekilde kendini göstermektedir. Aynı oranlarda çok duvarlı karbon nano tüp katkılanan A42 FDM'nin k değ erleri tüm ölçülen sıcaklıklarda saf parafine göre aynı oranlarda artış göstermiştir. FDM'ye +20°C de, 1% oranında MWCNT katkılandığında saf FDM'ye göre % 19 ısı iletim katsayısı artışı tespit edilmiştir. Bu artış miktarı FDM'ye MWCNT 3% oranında katkılandığında % 35 lere ulaşmış ve son olarak **5% MWCNT** katkı oranı ile k değ eri % **51,5** artarak **0,309 W/m.K** olmuştur.

**Tablo 3.2** Saf A62 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A62 FDM'nin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla (-10 ila +30) değişimi.

A62 SAF		A62 %1 mwcnt			A62 %3 mwcnt			A62 %5 mwcnt		
T	k	T	K		T	k		T	k	
-10	0,267	-10	0,292	%10	-10	0,355	%33	-10	0,386	%45
0	0,252	0	0,288	%15	0	0,335	%33	0	0,374	%48
10	0,252	10	0,284	%13	10	0,326	%29	10	0,365	%45
20	0,244	20	0,272	%12	20	0,320	%31	20	0,352	%44
30	0,244	30	0,272	%12	30	0,317	%30	30	0,348	%43



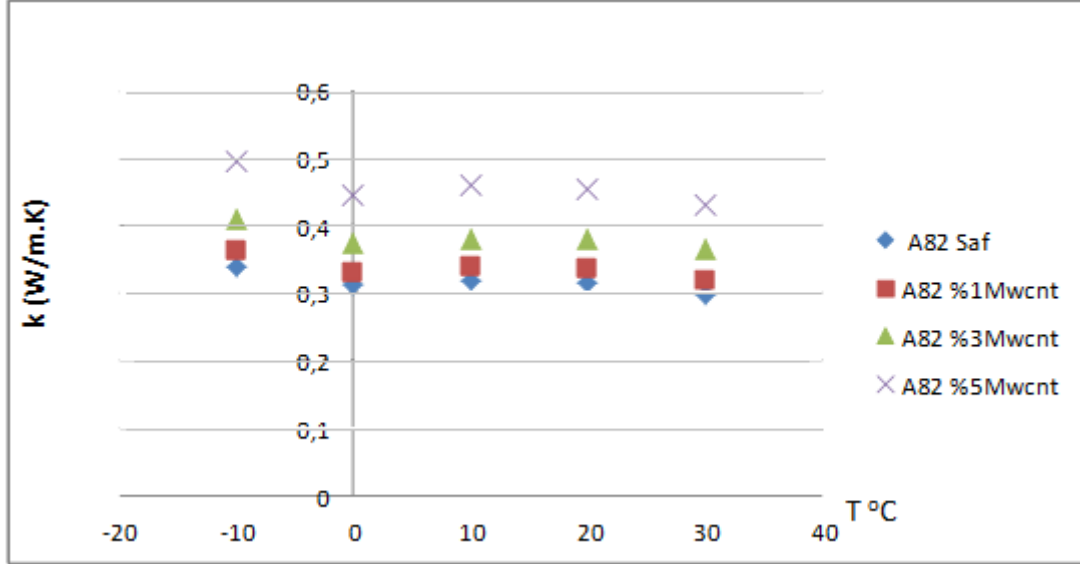
**şekil 3.2** Saf A62 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A62 FDM'nin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi.

Organik A62 parafin FDM'nin -10 dereceden +30°C ye kadar sabit sıcaklıkta ısı iletkenlik katsayısı için tüm sıcaklıklarda saf hali için, 1%, 3% ve 5% MWCNT katkılı kompozit FDM için ayrı ayrı ölçüm yapılmıştır. Standart +20°C deki saf FDM A62'nin iletkenlik katsayısı  $k=0,244$  olarak saptanmış, 0 ve +10°C de %3 oranında bir artışla k değeri 0,252 olarak tespit edilmiştir. Sadece -10°C de diğer parafin FDM lerle benzer olarak %9,3 lük bir artış vardır. Saf A62 nin -10°C deki ısı iletkenliği  $k=0,267$  W/m.K dir. A62 FDM'ye çok duvarlı karbon nano tüp katkılıandığında k değerleri tüm ölçülen sıcaklıklarda saf parafine göre aynı

oranlarda artış göstermiştir. FDM'ye +20°C de, 1% oranında MWCNT katkılı olduğunda saf FDM'ye göre % 11,5 ısı iletim katsayısı artışı ile  $k=0,272$  olarak tespit edilmiştir. Bu artış miktarı FDM'ye MWCNT 3% oranında katkılı olduğunda % 31 artışla  $k=0,326$  ölçülmüş ve son olarak **5% MWCNT** katkı oranı ile **k** değeri **% 44.3** artarak **0,352 W/m.K** olmuştur.

**Tablo 3.3** Saf A82 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A82 FDM'nin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla (-10 ila +30) değişimi.

A82 SAF		%1 A82 mwcnt		%3 A82 mwcnt		%5 A82 mwcnt	
T	k	T	k	T	k	T	k
-10	0,338	-10	0,362	-10	0,409	-10	0,496
0	0,313	0	0,332	0	0,376	0	0,447
10	0,319	10	0,339	10	0,382	10	0,460
20	0,309	20	0,336	20	0,381	20	0,454
30	0,299	30	0,318	30	0,366	30	0,430



**Şekil 3.3** Saf A82 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) katkılı A82 FDM'nin ısı iletkenlik değerlerinin sıcaklıkla (-10 ila +30) arasında değişimi.

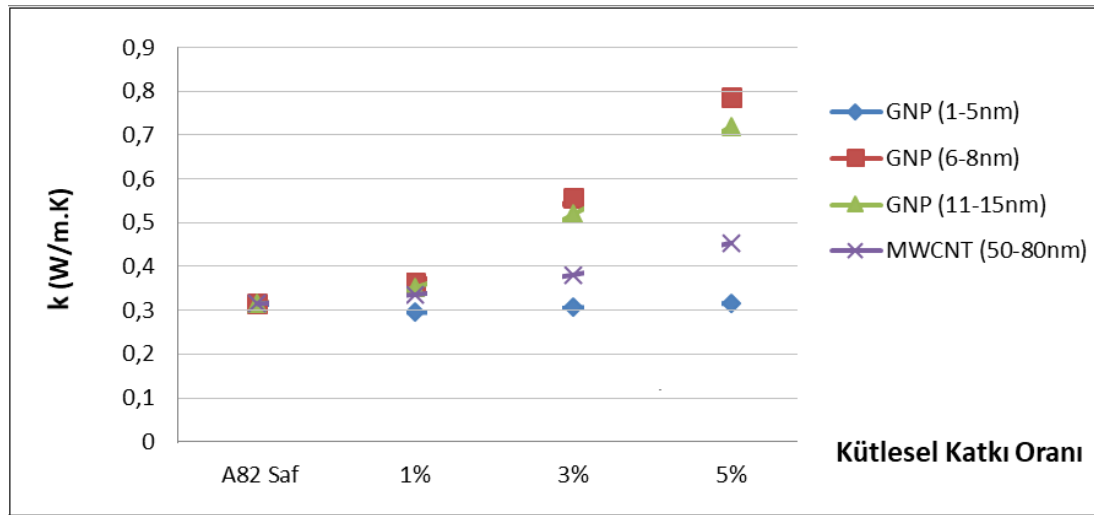
Alkan grubundan parafin A82 FDM'nin -10 dereceden +30°C ye kadar ısı iletkenlik katsayısının seyri analiz edilmiştir. Saf A82 için ölçülen k değerleri, 1%, 3% ve 5% MWCNT katkılı kompozit FDM için de ayrı ayrı ölçülmüştür. Standart +20°C deki saf FDM A82 nin iletkenlik katsayısı **k= 0,309** olarak saptanmıştır. 0 °C de k değerinde %1 azalma ve +10°C de %1 artma ihmal edilecek düzeyde olduğundan 0 ila 20°C arasında ısı iletkenlik değeri değişmiyor kabul edebiliriz. Fakat -10°C de A82'nin k değeri, diğer tüm parafin A42 ve A62 de benzer şekilde, standart 20°C deki değerine göre %7,3 oranında bir artışla  $k=0,338\text{W/m.K}$  olarak tespit edilmiştir. Parafin A82 FDM'ye +20°C de çok duvarlı karbon nano tüp katkılı olduğunda 1% MWCNT katkısı ile k değerindeki % 9 artış ile  $0,336\text{W/m.K}$  olmuştur. 3% katkı ile kompozitin ısı iletkenliği %23 artarak  $0,381\text{ W/m.K}$  ve son olarak **5% MWCNT** katkısı ile de **%47** artarak **k=0,454** olmuştur.

### 3.2 Parafin FDM ve Karbon nano parçacık/ Grafen katkılı kompozit FDM'nin ısı iletkenlik testleri.

Deney numuleri hazırlanan A82 parafin FDM lerin saf hali ile (50-80nm) apında çok cidarlı karbon nano tp 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanarak elde edilen CNP/FDM kompozitinin ısı iletkenlik katsayılarındaki değişim +20°C sabit sıcaklıkta ölçülmüştür. Aynı Şartlarda A82'ye katkılanan üç değişik plaka kalınlıklarındaki çok katmanlı GNP lerin; (1-5nm), (6-8nm) ve (11,15nm) olmak üzere GNP/FDM kompozitlerinin +20°C de ısı iletkenlikleri ölçülmüştür.

**Tablo 3.4** Saf A82 FDM ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) ve 3 farklı kalınlıkta GNP katkılı A82 FDM'nin +20°C deki ısı iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.

A82	SAF		A82	%1	K	%	A82	%3	k	%	A82	%5	k	%
	T	k												
MWCNT (50-80nm)	20	0,309			0,336	%9			0,381	%23			0,454	%47
GNP (1-5nm)	20	0,309			0,295	-%5			0,306	-%1			0,316	%2
GNP (6-8nm)	20	0,309			0,362	%17			0,557	%80			0,785	%154
GNP (11-15nm)	20	0,309			0,352	%14			0,519	%68			0,720	%133



**Şekil 3.4** Saf A82 ile 1%, 3% ve 5% MWCNT (50-80nm) ve 3 farklı kalınlıkta GNP katkılı A82 FDM'nin +20°C deki ısı iletkenlik artışı.

Tablo 3.4 ve Grafik 3.4 den görüldüğü üzere MWCNT (50-80nm) çok duvarlı karbon nano tüp A82 parafin FDM'ye kütleli 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılandığında ısı iletkenlik artış eğrisinin çok kararlı artmakta olduğunu görüyoruz. Çok tabakalı GNP'lardan, GNP(1-5nm) atomik plakalar sayısının çok az olduğu, sadece birkaç altıgen karbon atomik katmanlardan oluşmakta olduğu ve FDM' ye 1% oranında katkılandığında A82 nin iletkenliğinde (% -5 gibi) bir negatif etki yarattığı tespit edilmiştir. Diğer 3% ve 5% oranlarında katkılandığında ise sırasıyla (%1) ve (%2) gibi çok çok az bir iletkenlik artışı gözlemlenmiştir.

Diğer kalınlıklarda atomik plaka sayısı yüksek olan **(6-8nm) GNP** katkılı **A82** kompozit faz değişken malzemesinin ısı iletim performansının tablo 3.4 de görüldüğü gibi **5%** lik kütleli etki ile saf A82 deki  $k= 0,309$  değeri %154 oransal artış ile  **$k=0,785$**  lere çıkmıştır.

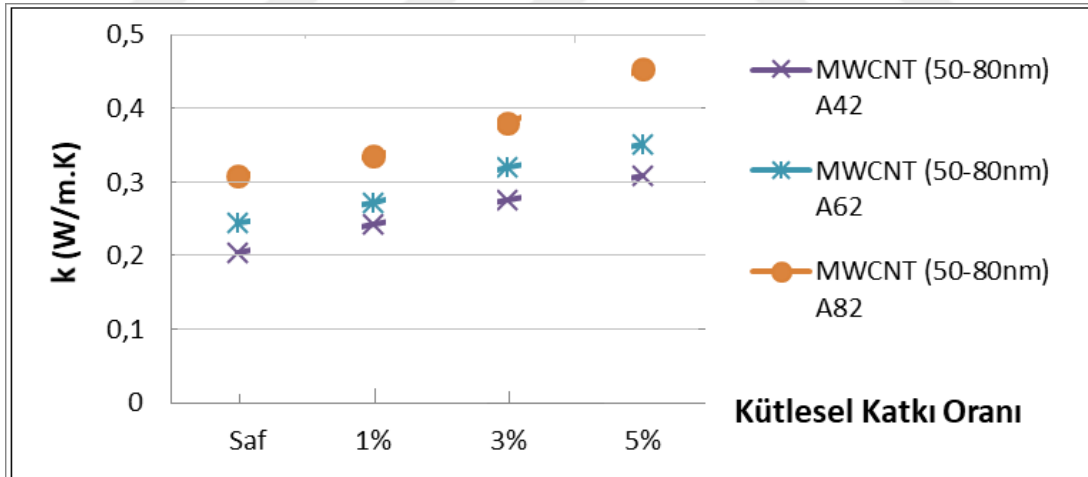
Atomik tabakalar toplamı (11-15nm) olan GNP ile A82 nin birleşik ısı iletkenlik performansı ise yine tablo 3.4 te aktarıldığı gibi %133 oransal artışla  $0,720$  W/m.K olarak ölçülmüştür. Kullanılan üç GNP içerisinde, boyutlardan kaynaklanan yüzey alanı optimizasyonu ve karbon altıgen yüzeyel bağ yapısından kaynaklanan grafenin başka bir malzeme içerisindeki ısı iletkenlik etkisi katmanlarının kalınlığına bağlı olduğu düşünülebilir. A82'de katılan hangi GNP kalınlığının maksimum ısı iletkenlik artışı sağlamasına bağlı olarak diğer A42 ve A62 parafin FDM'deki ısı iletkenliği test edilmiştir ve optimum (6-8nm) GNP ile (50-80)nm MWCNT'nin ısı iletkenlik performansları her üç parafin FDM lerde karşılaştırılmıştır.



**Tablo 3.5** 1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) katkılı A82, A62 ve A42 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısıl iletkenlik değişimi.

		SAF		%1	%3	%5
		T	k	k	k	K
MWCNT(50-80nm)	A42	20	0,204	0,242 %19	0,276 %35	0,309 %52
	A62	20	0,244	0,272 %12	0,320 %31	0,352 %44
	A82	20	0,309	0,336 %9	0,381 %23	0,454 %47

Organik parafin faz değişken malzemeleri A42, A62 ve A82'nin saf olarak ısıl iletkenlik değerleri arasındaki oran, yaklaşık olarak aynı kalmış ve A42'nin oransal katkılarına karşılık 1% lik katkı için diğer FDM lere oranla en fazla artış olmakla birlikte, 3% ve 5% MWCNT katkısı için de artış oranı diğer FDM' lere kıyasla yüksek olmuştur. Katkı oranı 5% için her üç FDM için de k ısıl iletkenlik değerlerindeki artış, sırasıyla 52%, 44% ve 47% olarak MWCNT etkisiyle doğrusal olarak artmıştır. A82 için 5% MWCNT katkısı ile artış oranında hızlanma görülmektedir.

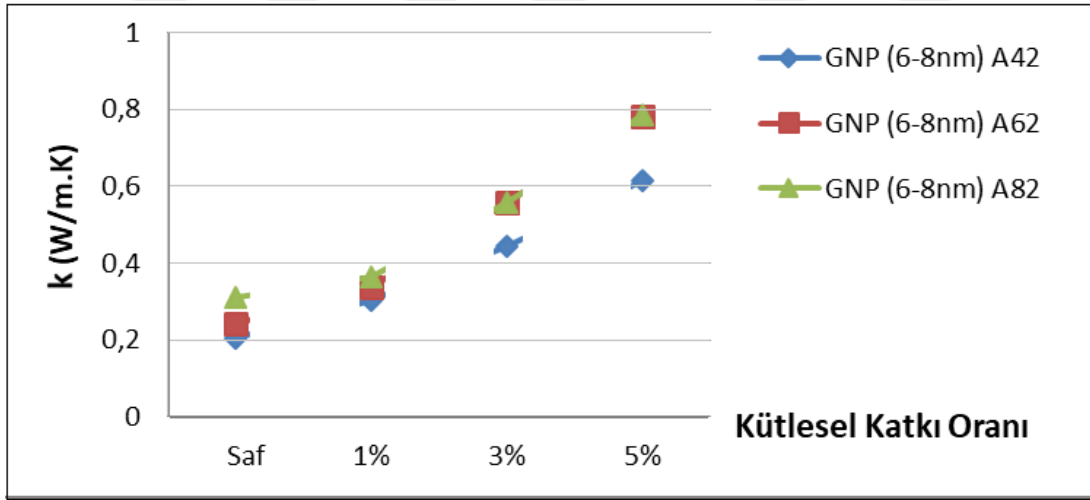


**Şekil 3.5** 1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) katkılı A82, A62 ve A42 FDM lerin +20°C deki ısıl iletkenlik değişimi.

**Tablo 3.6** 1%, 3% ve 5% oranlarında GNP(6-8nm) katkılı A82, A62 ve A42 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi.

		SAF		%1		%3		%5	
		T	k	k	%	k	%	k	%
GNP(6-8nm)	A42	20	0,204	0,304	%48	0,445	%131	0,614	%218
	A62	20	0,244	0,337	%38	0,558	%129	0,783	%221
	A82	20	0,309	0,362	%17	0,557	%80	0,785	%154

A42, A62 ve A82 NPFDM' lerinde katkılanan GNP(6-8nm) etkisi grafik 3.6 da görüldüğü gibi maksimum artış hızı A62'de gerçekleşmiştir. GNP 5% için kümülatif artış A42'de 0.410, A62'de 0.537 ve A82'de 0.476 tır. Buradan hareketle kütle fraksiyon artışı ile ısı iletkenlikler A62 ve A82 de aynı değere yakınsamaktadır.



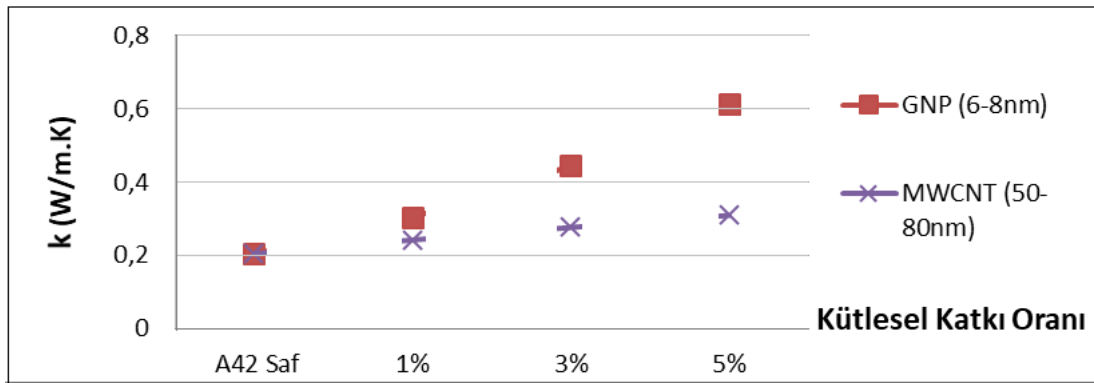
**şekil 3.6** 1%, 3% ve 5% oranlarında GNP(6-8nm) katkılı A82, A62 ve A42 FDM lerin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi.

A42, A62 ve A82 parafin faz değişken malzemelerinde k ısı iletkenlik performansı (50-80nm) aplı silindirik yüzeyli MWCNT ile en iyi performansı veren çok katmanlı (6-8nm) GNP'nin detaylı oransal ve kümülatif artışları aşağıda tartışılmıştır.

**Tablo 3.7** 1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A42 FDM' kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi.

A42	SAF		A42	%1	k	%19	A42	%3	k	%35	A42	%5	k	%52
	T	k												
MWCNT (50-80nm)	20	0,204			0,242			0,276					0,309	
GNP (6-8nm)	20	0,204			0,304	%48		0,445	%131				0,614	%218

MWCNT için katkı oranına göre A42 ısı iletkenliğindeki artış doğrusal ve eşit aralıklarla parafin ve MWCNT kütlesel karışım doyma sınırında sabit bir değere yakınsamaktadır. 1% oranında GNP(6-8nm) katkılı değindeki A42 ısı iletim katsayısı artışı ile 5% MWCNT (50-80nm) katkılı değindeki k değerleri aynı olmaktadır. Her iki NP için de k değerinde artış tesir faktörleri, nihai olarak yaklaşık 4 kattır.

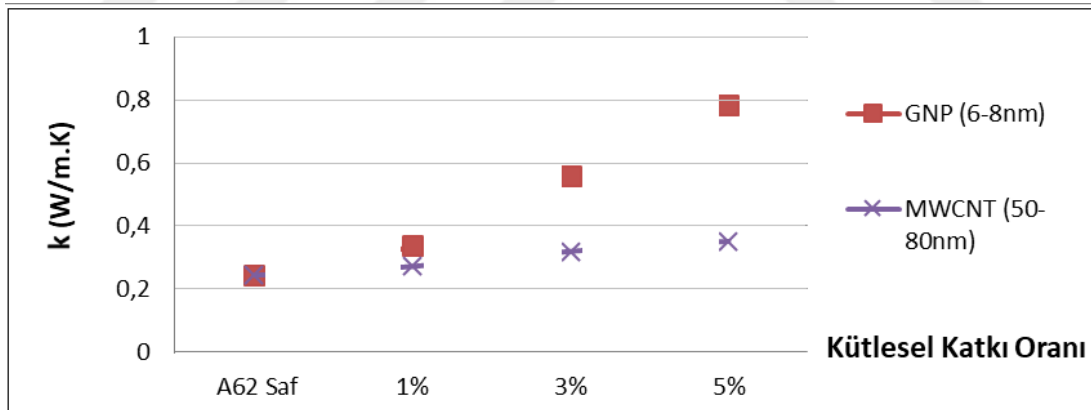


**şekil 3.7** 1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A42 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi.

**Tablo 3.8** 1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A62 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi.

A62	SAF		A62	%1	k	%12	A62	%3	k	%31	A62	%5	k	%44
	T	k												
MWCNT (50-80nm)	20	0,244			0,272			0,320					0,352	
GNP (6-8nm)	20	0,244			0,337	%38		0,558	%129				0,783	%221

A62 nin k iletkenlik katsayısı artışı Tablo 3.8' e göre, iki nano parçacık arasında kıyas yapıldığında, 1% katkılandığında GNP'nin 3 kat etki faktörü bulunduğu görölmektedir. Katkı oranı 3% olduğunda etki faktörü 4 katına çıkmakta ve %5 oranında katılan nano parçacıklar arasında etki faktörü 5 katına çıkmaktadır.

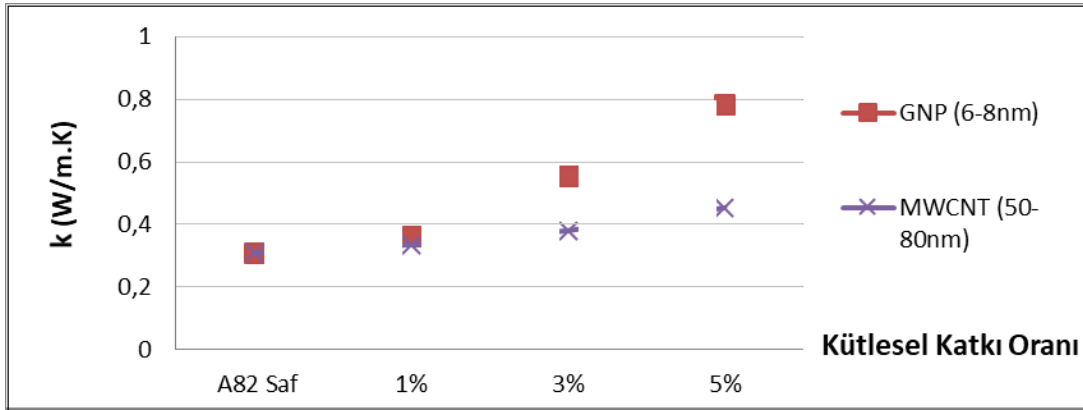


**Şekil 3.8** 1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A62 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi

**Tablo 3.9** 1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A82 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi

A82	SAF		A82	%1	k	%9	A82	%3	k	%23	A82	%5	k	%47
	T	k												
MWCNT (50-80nm)	20	0,309			0,336			0,381					0,454	
GNP (6-8nm)	20	0,309			0,362	%17		0,557	%80				0,785	%154

A82 parafin FDM %1 lik nanoparçacık katkılandığında ısı iletkenlik değerinde oransal artış nispeten az olmakla birlikte %3 katkılandığında artış oranı MWCNT için 2.5 kat, GNP için ise 4.5 kat olmuştur. Parçacık miktarı kütlelel %5 eklendiğinde GNP için %1 deki artışın 9 katı ve MWCNT için %1 deki artışa göre homojen dilimlerle 5 kat artış gerçekteşmiştir.



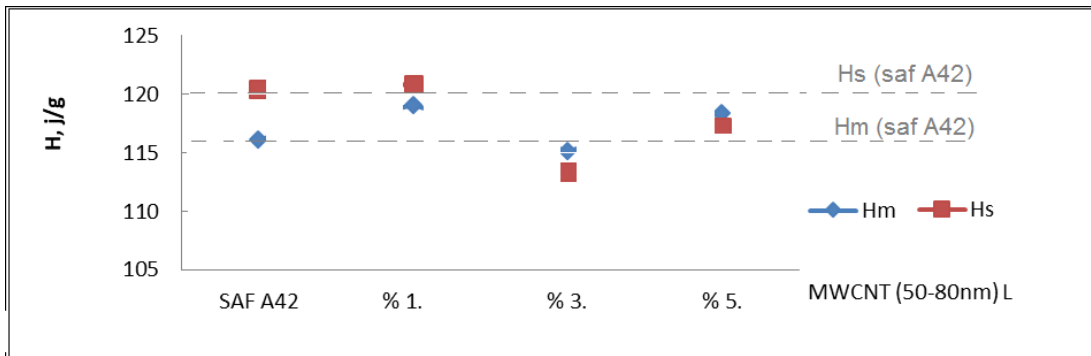
**Şekil 3.9** 1%, 3% ve 5% oranlarında MWCNT (50-80nm) ve GNP(6-8nm) katkılı A82 FDM kompozitlerinin +20°C deki ısı iletkenlik değişimi

**3.3. Faz değişken malzemelerin (GNP) ve MWCNT katkılandığında elde edilen FDM / NPFDM kompozitin, alınan örneklerle yapılan DSC analizlerinden, erime ve donma gizli ısı (latent) enerji karakteristikleri.**

**Tablo 3.10** A42 FDM'nin 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan MWCNT(50-80nm) etkisiyle DSC'de izlenen erime, katılma ve latent değişimi.

A42	MWCNT (50-80nm)L	Tm	Tpe	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A42	SAF	32,35	38,54	41,88	116,09	40,00	37,10	30,36	120,46
A42	% 1.	32,27	38,71	41,95	119,11	40,14	37,06	30,63	120,82
A42	% 3.	32,15	38,76	42,00	115,19	40,14	37,04	30,86	113,35
A42	% 5.	32,46	38,69	41,86	118,43	40,12	37,09	30,99	117,18

Saf A42 parafin materyaline %1 oranında MWCNT eklendiğinde erime latent değerinin 3 J/g artış gösterdiği buna karşın katılma latent değerinin aynı olduğu görölüyor. Fakat %3 katkı oranında erime latent değeri saf haldeki değere yaklaşmakta ve %5 lik katkı sonucu erime ve katılma latent değerlerinin birbirlerine yaklaştığını görmekteyiz. Ayrıca erime ve katılma sıcaklık değerlerinin değişmemesi nano partikül katkısının ısıl karakteristiği bozmadığını gösteriyor.

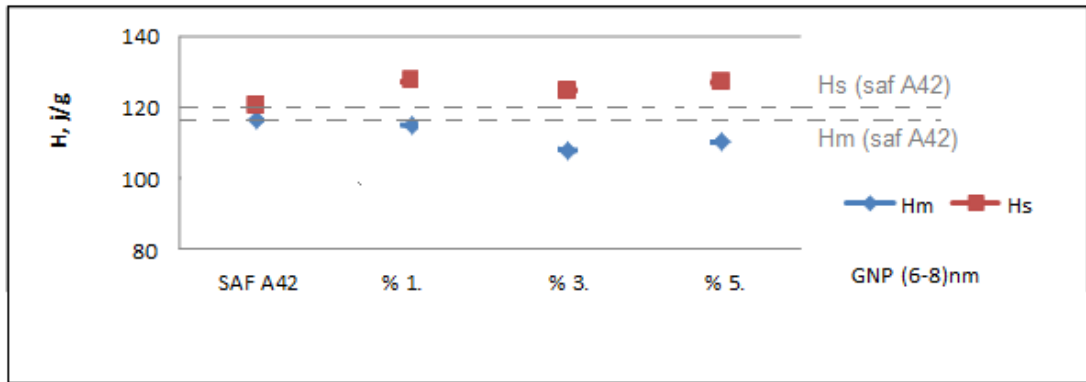


**Şekil 3.10** A42 FDM'ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan MWCNT (50-80nm) etkisiyle NPFDM'nin DSC'de izlenen erime katılma Latent değişimi.

**Tablo 3.11** A42 FDM kompozitinin performansının 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan GNP(6-8nm) etkisiyle DSC’de izlenen erime, katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimi.

A42	GNP (6-8)nm	Tm	Tpe	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A42	SAF	32,35	38,54	41,88	116,09	40,00	37,10	30,36	120,46
A42	% 1.	32,80	38,87	41,73	114,55	40,00	37,38	30,28	127,51
A42	% 3.	32,89	39,01	42,30	107,65	40,18	37,11	30,13	124,30
A42	% 5.	32,65	38,53	41,99	110,33	40,28	37,14	30,22	126,78

%3 GNP (6-8nm) katkılandığında kompozit FDM A42’nin erime latent ısısı, saf A42’ye oranla azalmasının nedeni NP/FDM’nin iletkenliğinin artmış olmasından kaynaklanan, erime başlangıcından önceki ısıl süreçlerde arafaz, katı-katı, katı-sıvı geçiş bölgesinin uzaması ve duyarlı ısı enerji kabiliyetinin artmasıyla açıklanabilir. Ayrıca erime ve katılma sıcaklıkları ile pik sıcaklık değerlerinin parçacık katkısıyla kararlı ve ısıl dengesini koruduğu görülmektedir.

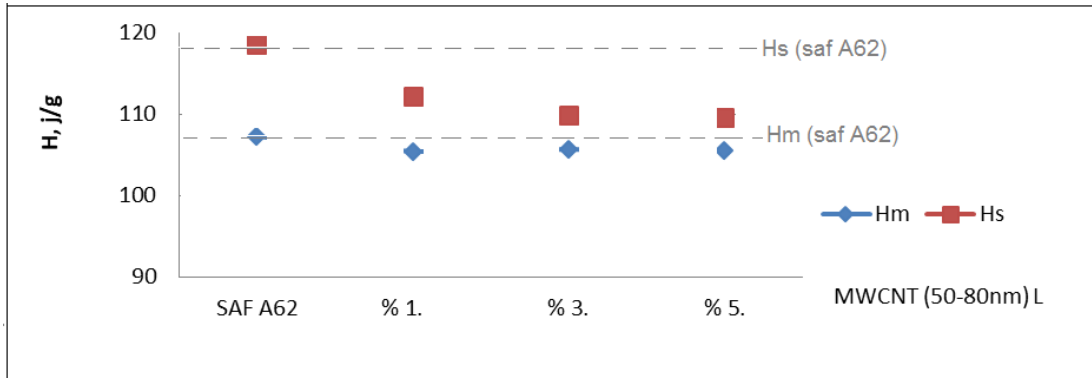


**Şekil 3.11** A42 FDM’ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan GNP(6-8nm) etkisiyle NPFDM’nin DSC’de izlenen erime katılma latent değişimi.

**Tablo 3.12** A62 FDM' kompozitinin performansının 1%, 3% ve 5% oranlarında katılanan MWCNT (50-80nm) etkisiyle DSC' de izlenen erime, katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimi.

A62	MWCNT (50-80nm)L	Tm	Tpe	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A62	SAF	51,21	59,23	63,30	107,27	60,89	58,62	51,17	118,63
A62	% 1.	51,04	59,48	63,03	105,44	61,21	57,93	49,40	112,13
A62	% 3.	50,94	59,57	63,08	105,69	61,27	58,01	49,25	109,85
A62	% 5.	50,93	59,45	62,91	105,58	61,14	57,84	49,17	109,65

A62 parafinine MWCNT (50-80nm) katıldığında katılma latent değerinde azalma görülmekte, NP/FDM'nin tam katılma süresinin uzadığını göstermektedir. Bunun bir göstergesi de katılma pik değerinin azalmasıdır. Fakat erime latent değeri sabit değerini korumakta ve katılma latent ısı ile aynı değere yakınsamaktadır. Erime başlangıç, pik sıcaklık ve erime sonlanma değerleri değişmemektedir.



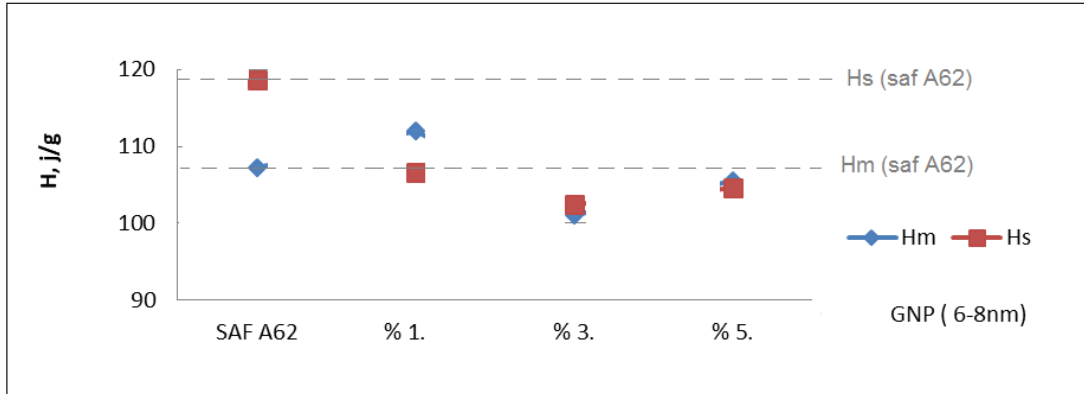
**Şekil 3.12** A62 FDM'ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katılanan MWCNT (50-80nm) etkisiyle NPFDM'nin DSC'de izlenen erime katılma Latent değişimi.



**Tablo 3.13** A62 FDM' kompozitinin performansının 1%, 3% ve 5% oranlarında katılanan GNP (6-8nm) etkisiyle DSC'de izlenen erime, katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimi.

A62	GNP (6-8)nm	Tm	Tpe	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A62	SAF	51,21	59,23	63,30	107,27	60,89	58,62	51,17	118,63
A62	% 1.	50,81	59,09	63,04	112,08	61,00	58,18	50,45	106,67
A62	% 3.	51,57	59,97	63,42	101,14	61,11	57,28	49,53	102,51
A62	% 5.	51,07	59,37	62,82	105,52	61,30	57,95	49,63	104,61

A62 deki erime latent enerji değişiminin GNP (6-8nm) katkılandığında kararlı bir çizgide %1 katkılandığında 4 J/g artış göstermesi, %3 katkılandığında tam tersine 4 J/g azalması ve %5 GNP katılanması sonucu ise tekrar saf haldeki latent değerine yaklaştığı görülmektedir. Katılma sürecindeki GNP katkısının azalarak erime latent değerini yakaladığını görüyoruz. Katılma sonlanma sıcaklıklarındaki düşmeye rağmen latent enerjinin azalması ise katı-katı ısı verme sürecinin artmış olmasından kaynaklanmaktadır.

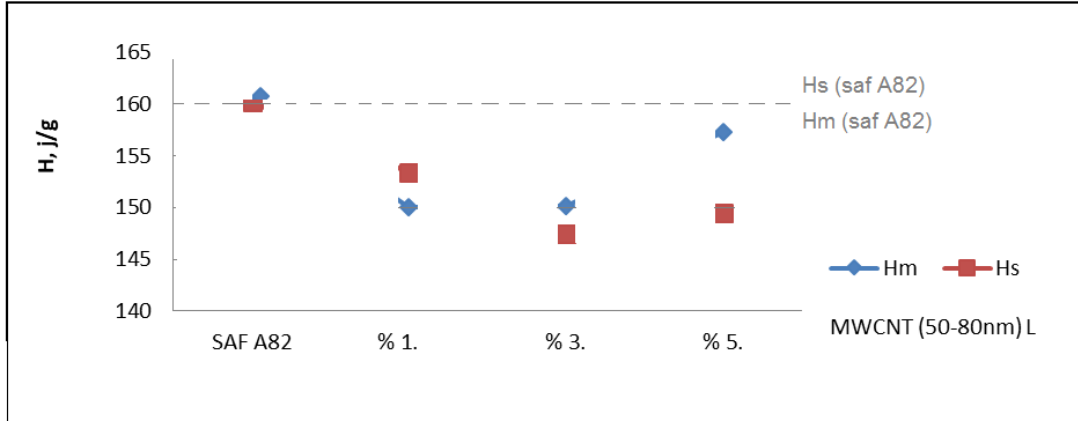


**Şekil 3.13** A62 FDM'ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katılanan GNP(6-8nm) etkisiyle NPFDM'nin DSC' de izlenen erime katılma latent değişimi.

**Tablo 3.14** A82 FDM kompozitinin performansının 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan ÇDKNT(50-80nm) etkisiyle DSC’de izlenen erime, katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimi.

A82	MWCNT (50-80nm)L	Tm	Tpe	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A82	SAF	72,00	82,32	89,38	160,53	86,52	80,09	69,64	160,18
A82	% 1.	70,94	82,70	89,20	149,99	86,69	79,97	69,61	153,37
A82	% 3.	71,10	82,39	88,93	150,15	86,27	80,05	69,55	147,49
A82	% 5.	70,74	82,37	88,81	157,35	86,41	80,14	70,49	149,49

A84 parafinine katkılanan çok duvarlı karbon nano tüp etkisi erime sıcaklığını yaklaşık 1°C azaltmış, pik sıcaklık ve erime sonu sıcaklıkları değişmemiştir. Buna rağmen 10.5 J/g erime latent enerjisindeki azalma oluşmuş fakat %5 lik nano parçacık katkısında latent değeri 150 J/g den artarak 157,35 J/g olarak saptanmıştır. Benzer durum katılma latent enerji değeri için de söylenebilir, latent değeri FDM kompozitin katkı oranı %5 olduğunda tekrar düzelmeye eğilimi göstererek 149,49 J/g düzeylerinde sabitlenmiştir.

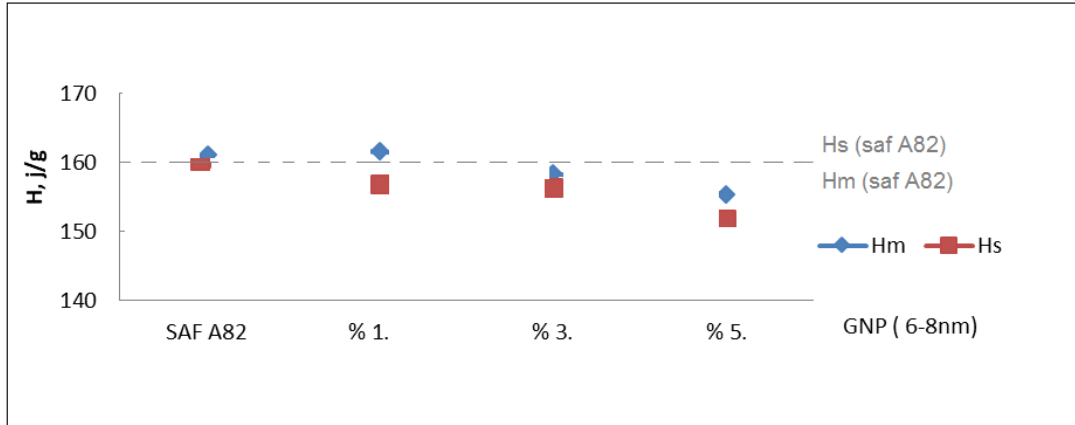


**Şekil 3.14** A82 FDM’ ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan MWCNT (50-80nm) etkisiyle NPFDM’nin DSC’de izlenen erime katılma Latent değişimi.

**Tablo 3.15** A82 FDM' kompozitinin performansının 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan GNP (6-8nm) etkisiyle DSC'de izlenen erime, katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimi.

A82	GNP (6-8nm)	Tm	Tpe	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A82	SAF	72,00	82,32	89,38	160,53	86,52	80,09	69,64	160,18
A82	% 1.	71,53	82,31	88,75	155,61	86,35	80,11	69,71	156,97
A82	% 3.	71,35	82,43	88,81	158,42	86,56	80,61	70,18	156,47
A82	% 5.	71,59	82,43	88,90	155,38	86,76	80,79	70,18	151,83

%1 GNP(6-8nm) katkılı A82 için erime ve katılma sıcaklık değerlerinin değişmediği söylenebilir fakat latent değerlerinde 5 J/g lik bir düşüş gözlenmektedir. %3 katkı oranında erime latentini yükselme eğilimi göstermiş, katılma latent değeri ise sabit kalmıştır. %5 lik nano parçacık katkılı olduğunda erime latentini 155,38 J/g seviyelerinde kalırken katılma latent değeri 151,83 J/g olarak izlenmiştir. %5 nano parçacık katkısı, erimede %3,2 latent azalmasına neden olmuş, katılma ise %5,2 lik bir azalma gerçekleşmiştir.

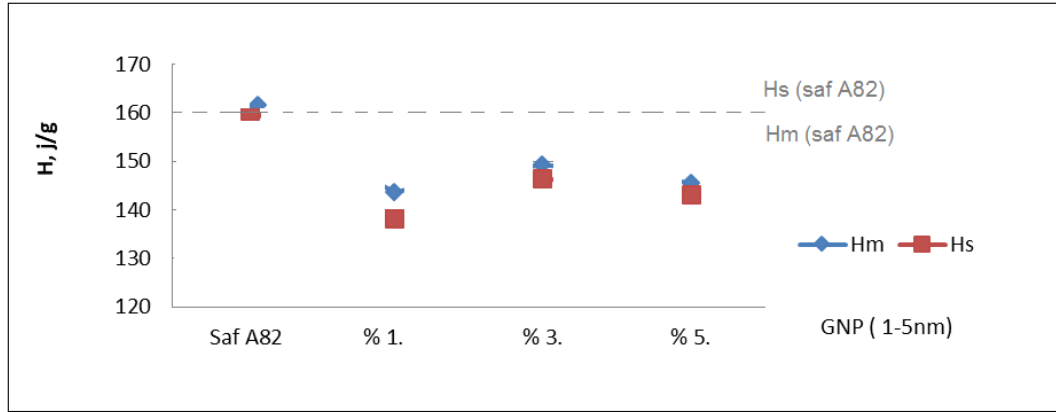


**Şekil 3.15** A82 FDM'ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan GNP (6-8nm) etkisiyle NPFDM'nin DSC'de izlenen erime katılma latent değişimi.

**Tablo 3.16** A82 FDM kompozitinin performansının 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan GNP (1-5nm) etkisiyle DSC’de izlenen erime, katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimi.

A82	GNP (1-5nm)	Tm	Tpm	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A82	SAF	72,00	82,32	89,38	160,53	86,52	80,09	69,64	160,18
A82	% 1.	71,62	83,35	89,44	143,57	86,29	79,60	70,18	138,12
A82	% 3.	71,38	82,68	88,94	149,24	86,71	80,25	70,63	146,51
A82	% 5.	71,79	82,64	88,87	145,49	86,53	80,36	70,57	143,16

GNP (1-5nm) katkılı A82 için %1 katkı oranında erime ve katılma latent değerleri aniden düşmüş fakat 3% ve 5% katkı oranlarında kararlı ve sabit devam etmiştir. Latent değerlerindeki azalmalar GNP(1-5nm) parçacığının %1 katkılı olduğunda negatif ısıl iletkenlik artışı sağlamış olması düşünüldüğünde GNP(1-5nm)’nin parafin materyalinin faydalı hacmini doldurduğu yorumu yapılabilir.

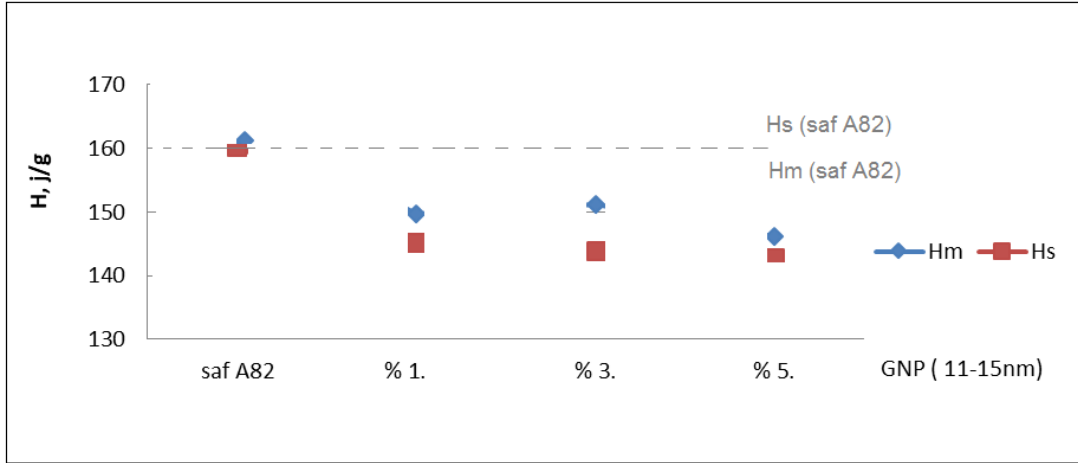


**Şekil 3.16** A82 FDM’ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katkılanan GNP (1-5nm) etkisiyle NPFDM’nin DSC’de izlenen erime katılma latent değişimi.

**Tablo 3.17** A82 FDM kompozitinin performansının 1%, 3% ve 5% oranlarında katılanan GNP (11-15nm) etkisiyle DSC’de izlenen erime, katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimi.

A82	GNP (11-15nm)	Tm	Tpm	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A82	SAF	72,00	82,32	89,38	160,53	86,52	80,09	69,64	160,18
A82	% 1.	71,77	82,73	88,97	149,70	86,23	79,75	70,20	145,27
A82	% 3.	71,17	82,73	88,97	151,24	86,46	80,27	70,52	143,89
A82	% 5.	71,90	82,76	89,12	146,25	86,46	80,51	70,43	142,76

A82 parafin mateyaline GNP(11-15nm) katıldığında, Tse katılma sonu değerlerinde oransal olarak artışla birlikte latent değerlerinde de azalma görülmektedir. 1% parçacık katkısıyla erime ve katılma latent değerlerinde ani azalma erime ve katılmada %9 civarında gerçekleşmiş fakat katkı oranı 3% latent değeri erime bölgesi için artarak 151,24 J/g olmuş, katılma bölgesi için ise sabit bir değere yakınsayıp ihmal edilir mertebede azalmaktadır.



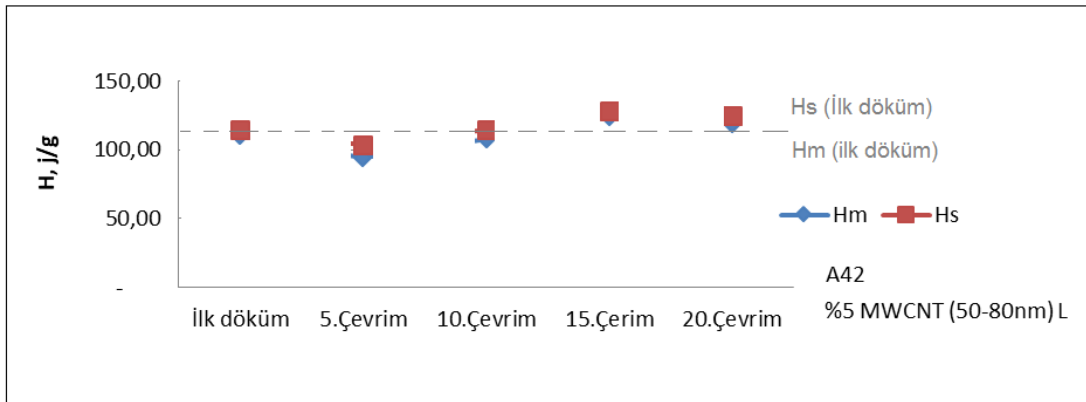
**Şekil 3.17** A82 FDM’ye 1%, 3% ve 5% oranlarında katılanan GNP (11-15nm) etkisiyle NPFDM’ nin DSC’de izlenen erime katılma latent değişimi

### 3.4 Parafin FDM ve nano parçacık (GNP ve MWCNT) katkıli kompozit NP/FDM' nin erime ve donma çevrimlerinin latent ısı karakteristiklerine etkisi.

**Tablo 3.18** 5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A42 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin latent değişimine etkisi.

A42	% 5.MWCNT (50-80nm)L	Tm	Tpm	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A42	İlk döküm	32,08	38,38	41,59	110,20	39,55	36,30	29,88	114,73
A42	5.Çevrim	31,88	38,89	40,73	94,02	39,15	36,96	29,55	103,76
A42	10.Çevrim	31,55	39,19	41,05	107,71	39,28	37,24	29,20	114,34
A42	15.Çerim	32,32	39,71	41,26	124,14	39,75	37,31	29,89	128,05
A42	20.Çevrim	33,16	39,65	41,39	119,36	39,78	37,64	30,62	125,20

Tablo 3.18 den A42 MWCNT / FDM, ilk 5. erime-katılma işlemi sonrası erime latent 16,18 J/g ve katılma latent 10,97 J/g azalmaktadır. Fakat 10. çevrim sonunda aynı seviyelere tekrar ulaşmakta ve 15. çevrim ile her iki latent değeri ~14 J/g artış göstermektedir. 20. çevrim sonunda erime sıcaklığı 1,08°C geç başlamakta, erime pik sıcaklık değeri 1,27 °C artış göstermekte ve latent değeri 9.16 J/g yüksek olarak izlenmektedir. Katılma ise katılma sonu sıcaklığında 0,84 °C ve pik sıcaklık değeri 1,34 °C artma görülmekle birlikte latent değeri 10,47 J/g yüksek olmaktadır.

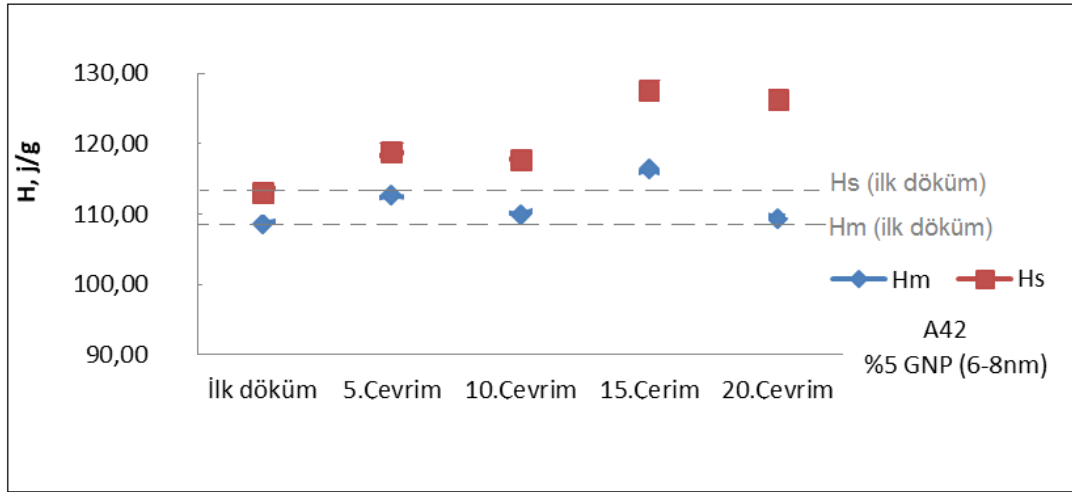


**Şekil 3.18** 5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A42 FDM kompozitinin erime ve donma çevrimlerinin latent değişimine etkisi.

**Tablo 3.19** 5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A42 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.

A42	% 5.GNP (6-8)nm	Tm	Tpm	Tme	Hm	Ts	Tps	Tse	Hs
A42	İlk döküm	32,65	39,25	41,93	108,70	40,19	37,37	30,55	113,12
A42	5.Çevrim	32,18	39,35	41,02	112,65	39,47	37,49	30,03	118,84
A42	10.Çevrim	31,51	38,79	40,75	109,84	39,11	37,02	29,49	117,72
A42	15.Çevrim	32,08	39,17	40,92	116,54	39,38	36,71	31,09	127,67
A42	20.Çevrim	32,48	39,42	41,10	109,29	39,54	37,34	30,41	126,42

GNP(6-8nm) katkılı A42 de ilk 5. çevrim sonucu erime ve katılma latentleri artmakta, ikinci 5. çevrim sonucu ilk döküm değerlerine göre erimede 1,14 J/g ve katılma enerjisinde 4,6 J/g artma devam etmekte, üçüncü 5. çevrim sonunda ise erimede 7,84 J/g, katılaşmada ise 14,45 J/g değerinde bir artma söz konusu olmaktadır. Son 20 çevrimde ise erime latentleri ilk değerine yaklaşırken katılma değeri 13,3 J/g fazlalığını korumaktadır.

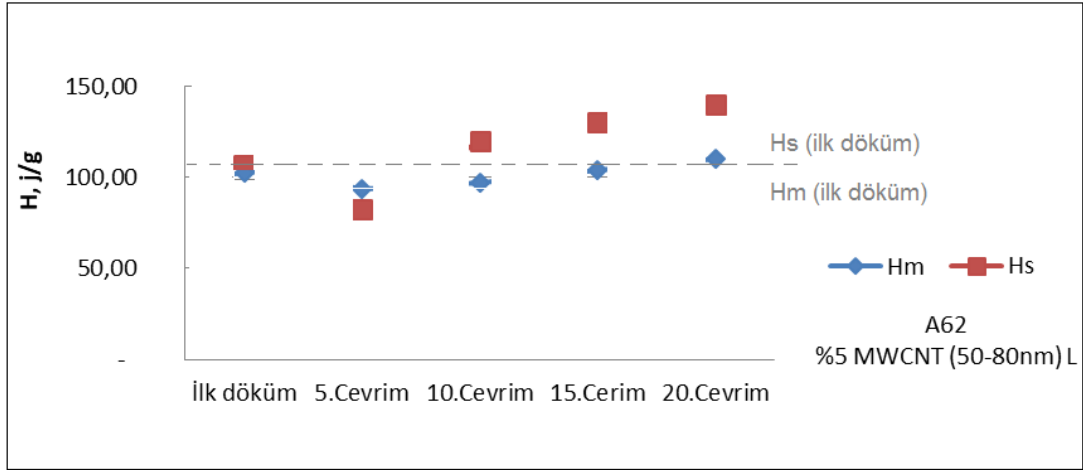


**Şekil 3.19** 5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A42 FDM' kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin latent değişimine etkisi.

**Tablo 3.20** 5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A62 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.

A62	% 5.MWCNT (50-80nm)L	Tm	Tp	Tme	Hm	Ts	Tp	Tse	Hs
A62	ilk döküm	50,76	59,30	62,72	105,90	60,75	57,54	48,90	106,94
A62	5.Çevrim	50,86	59,45	61,90	93,56	60,03	58,32	50,31	82,72
A62	10.Çevrim	52,44	59,96	62,17	96,96	59,80	56,65	48,52	120,10
A62	15.Çevrim	51,09	59,50	61,97	103,92	60,08	57,72	48,91	130,22
A62	20.Çevrim	51,01	59,76	62,00	110,10	59,94	57,59	48,75	139,90

A62 MWCNT/ FDM'nin 5.çevriminde latent değerlerinde ani bir düşüş olması ve 10. Çevrimde erimedeki düşme çok az telafi edilmekle birlikte katılma latentini artırarak 15. ve 20. çevrimlerde 32,96 J/g artmıştır. Erime latent değerinde ise artış daha kararlı ve ilk değere göre 4,2 J/g lık bir artış görülmektedir.



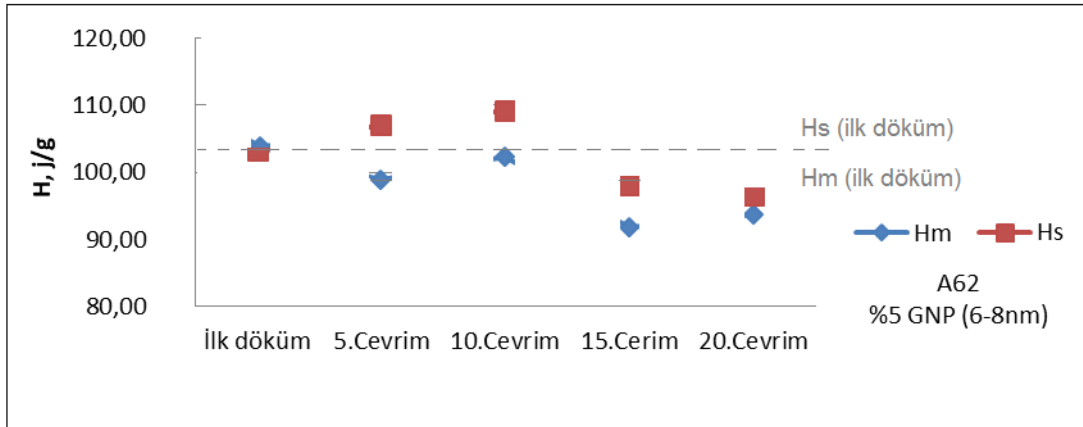
**Şekil 3.20** 5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A62 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.



**Tablo 3.21** 5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A62 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.

A62	% 5.GNP (6-8)nm)	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>me</sub>	H <sub>m</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>se</sub>	H <sub>s</sub>
A62	İlk döküm	50,77	59,76	63,21	103,88	61,28	57,93	49,64	103,27
A62	5.Çevrim	50,97	59,68	61,86	98,81	60,31	57,73	49,41	107,01
A62	10.Çevrim	51,33	59,58	62,07	102,29	60,62	58,00	49,77	109,29
A62	15.Çerim	51,62	59,45	62,02	91,87	60,45	57,90	49,55	98,14
A62	20.Çevrim	51,63	59,57	61,99	93,76	60,43	57,58	49,43	96,51

A62 FDM %5 GNP(6-8nm) ilk 5. çevrimi sonunda erime latent değeri 5,07 J/g düşme göstermekte, katılma ise 3,74 J/g artmaktadır. İkinci 5. çevrimde erimede ilk değerine yaklaşmakta ve katılma latent enerjisi 4,02 J/g artmaktadır. 15 ve 20 erime katılma çevrimi sonunda T<sub>me</sub> erime sonlanma sıcaklığı 1,22 °C düşmesi daha hızlı erimenin tamamlandığını göstermektedir. Katılmanın ise T<sub>s</sub>, 0,85 °C daha geç başladığı görülmektedir.

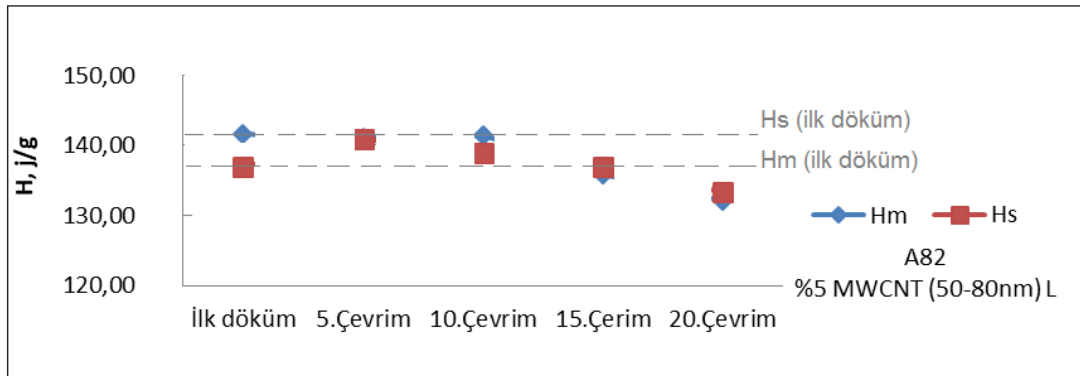


**Şekil 3.21** 5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A62 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.

**Tablo 3.22** 5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A82 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.

A82	% 5.MWCNT (50-80nm)L	Tm	Tp	Tme	Hm	Ts	Tp	Tse	Hs
A82	ilk döküm	70,56	82,08	88,39	141,53	85,86	79,96	69,34	136,92
A82	5.Çevrim	69,27	81,86	88,11	141,08	85,59	79,65	68,99	140,91
A82	10.Çevrim	68,76	81,89	88,25	141,40	85,53	79,44	68,63	138,86
A82	15.Çerim	68,49	81,31	88,75	135,84	85,33	79,47	68,59	136,96
A82	20.Çevrim	66,81	81,00	87,71	132,06	85,13	78,96	65,70	133,26

A82 MWCNT / FDM deki ilk 5 çevrim sonunda erime latentini değişmemekte fakat erime başlangıç sıcaklığı 1,29 °C düşmektedir. Katılma ise latent değerinde 3,99 J/g artış gözlenmektedir. İkinci 5 çevrim sonunda ise yine erime latentini değişmemekte fakat erime başlangıç sıcaklığı 1,8°C düşmektedir. Katılma ise 1,94 J/g latent artış görülmektedir. Üçüncü çevrim sonu ise erime başlangıç sıcaklığı yine 2,07°C düşmekte ve fakat erime latent değeri de 5,69 J/g azalmakta, katılma latent ise ilk değerine yakınsamaktadır. Buna rağmen erime başlangıç sıcaklığı ve katılma son sıcaklığı azalmış ve son 20 çevrim ile erime başlangıç sıcaklığı 3,75 °C düşerek erime latent değeri 9,47 J/g ve katılma sıcaklığı 3,64 °C düşerek, katılma değeri ise 3,66 J/g azalmaktadır.

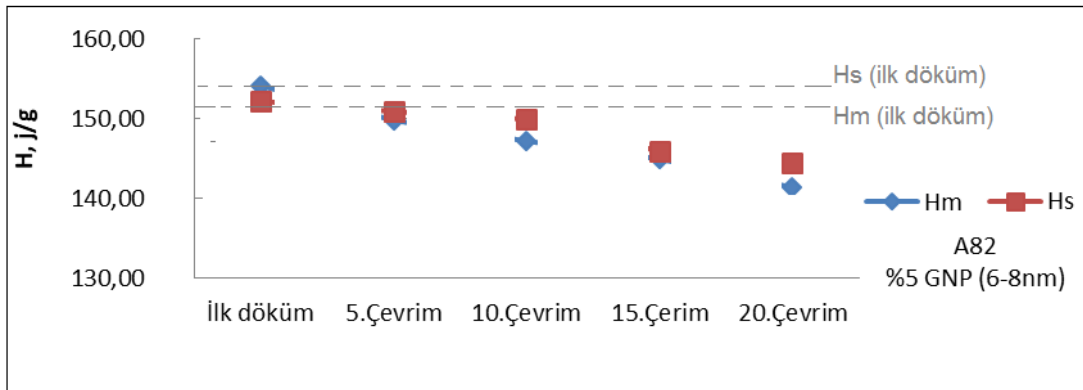


**Şekil 3.22** 5% oranında MWCNT (50-80nm) katkılanan A82 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin latent değişimine etkisi.

**Tablo 3.23** 5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A82 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.

A82	% 5.GNP (6-8nm)	Tm	Tp	Tme	Hm	Ts	Tp	Tse	Hs
A82	İlk döküm	71,17	82,77	89,15	154,05	86,45	80,49	69,76	152,25
A82	5.Çevrim	70,53	82,72	89,37	149,69	86,45	80,57	69,90	150,93
A82	10.Çevrim	72,15	82,50	88,60	147,18	86,60	80,68	70,46	149,93
A82	15.Çevrim	71,55	82,25	88,84	144,89	86,27	80,73	70,00	145,92
A82	20.Çevrim	69,79	81,81	88,44	141,39	85,99	79,94	67,80	144,41

5%GNP(6-8nm) katkılı A82 için ilk 5 çevrim sonunda erimede 4,36 J/g ve katılma 1,32 J/g azalma görülmektedir. 10 çevrim sonunda 6,87 J/g erime latentide ve 2,32 J/g katılma düşme görülmektedir. 15 çevrim sonunda erime enerjisi 9,16 J/g ve katılma 6,32 J/g düşme gerçekleşmekte ve son 20 çevrim ile kararlı bir şekilde erime latent değeri 12,66 J/g ve katılma enerjisi ise 7,84 J/g azalmaktadır.



**Şekil 3.23** 5% oranında GNP(6-8nm) katkılanan A82 FDM kompozitinin toplam 20 kez erime ve donma çevrimlerinin katılma ve pik sıcaklık değerleri ve latent değişimine etkisi.

#### 4.GENEL SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar ve metodik yaklaşımlarla FDM parafin faz değişken malzemelerinin farklı oranlarda karbon tabanlı nano plaka (Grafen) veya nano tüpler (MWCNT) kullanılarak kompozit haline getirilip, homojen yapıda NPFDM elde edilmesi sonucunda ısı kapasitesindeki değişiklikler incelenmiştir. Isıl materyal olarak kullanılmak üzere tasarlanan ve performans deneyleri sonucu ısı iletkenliklerindeki değişim faktörleri belirlenmeye çalışılarak erime - katılma parametreleri izlenmiştir. Latent ısı enerjisinin en uygun kullanım şartlarının neler olduğu incelenerek analiz sonuçları grafiklerde açıklanmıştır. Yapılan tez çalışmasında GNP(1-5nm) birkaç katmanlı grafen plaka, GNP(6-8nm) çok katmanlı grafen ve GNP(11-15nm) çok katmanlı grafen nano parçacıkları, A82 FDM' ye katılarak en iyi ısı iletkenlik katsayısını sağlayan optimum grafen kalınlığı belirlenmiştir. A82 parafin FDM'de en iyi sonucu veren grafen GNP (6-8nm) seçilerek diğer deney numuneleri A62 ve A42 ve A82'de MWCNT (50-80nm) ile GNP(6-8nm) etkilerinin, ısı iletkenlik ve erime--katılma değerleri ile latent enerjilerin nasıl değiştiği belirlenmiştir.

- Saf FDM ile NPFDM'de kullanılan A82, A62 ve A42 organik hidro karbon malzemelerinin katkılı ve katkısız haldeki ısı iletkenlik katsayılarının ortam sıcaklığı ile değişimi izlenerek -10 °C de kristal katı halde bulunan her üç FDM'nin ısı iletkenliklerinde %8-10 arasında bir artış gözlenerek ve 0°C den itibaren sıcaklık arttıkça ısı iletkenlik katsayısı değişimi kararlı bir çizgide olduğu görülmektedir. Sadece A42 parafin uygulamalarında +10 °C de diğerlerinden farklı olarak ısı iletkenlik değerinde yaklaşık %25 lik ani bir artış gözlenmektedir.
- A82 organik FDM saf halde ve 1%, 3% ve 5% kütle oranlarında GNP (11-15nm), GNP(6-8nm) ve GNP(1-5nm) boyutlarında karbon nano parçacık katkılı olduğunda, GNP(1-5nm) de %2 ve GNP (11-15nm) de %133 artış gözlenmekte ve en yüksek ısı iletkenlik artışını **GNP(6-8nm)** çok katmanlı nano plaka vermektedir. Katkı oranı **5%** olduğunda ısı iletkenlik katsayısındaki iyileştirme oranı %154 artış ile k değeri 0,309 dan **0,785 W/m.K** e çıkmakta ve kümülatif artış **0,474** olmaktadır.

- A42 ve A62 FDM lerde seçilen en iyi grafen GNP(6-8nm) 1%, 3% ve 5% kütle oranlarında katkılanarak ısı iletkenliklerinde A82 deki artışa nispeten değişiklikler görülmektedir. A62'nin artış oranı 5% GNP(6-8nm) için %221 iyileştirme ile  $k=0,244$  den  $k=0,783$  değerine ulaşarak kümülatif artış **0,539** W/m.K değerine ulaşmakta ve A42 FDM'de ise %218 iletkenlik artışı ile  $k$  değeri 0,204 den  $k=0,614$  W/m.K değerine kümülatif artış **0,410** olmaktadır.
- FDM A42, A62 ve A82 parafinlerine, %5 GNP(6-8nm) grafen nano plaka katkılandığında, sırasıyla %218, %221 ve %154 ısı iletkenlik artışı sağlanmakta, aynı parafinlere %5 MWCNT(50-80nm) nano tüp katkılandığında ısı iletkenlikleri sırasıyla %52, %44 ve %47 lere yakınsamaktadır. FDM'lerin ısı iletkenlik değerinde MWCNT (50-80nm) nin etkisi kararlı ve sabit artmakta olduğu görülmekte buna karşın %5 lik GNP(6-8nm) etkisi, önemli bir artışla kendini göstermekte ve düşük  $k_{A62}=0,244$  değerine sahip olan A62 ile yüksek  $k$  değerine sahip A82  $k_{A82}=0,309$ , %5 GNP(6-8nm) ile katkılandığında artış oranları sırasıyla %221 ve %154 değerlerinde ve  $k$  değerleri kümülatif olarak  $k_{NPA62}=0,783$  ve  $k_{NPA82}=0,785$  yaklaşık aynı seviyede artmaktadır. Bu da göstermektedir ki uygun seçilen grafen nano parçacığın bazı FDM parafinlerde ısı iletkenlik performansı FDM'den bağımsız olabilmektedir.
- FDM A82 parafin için 160 J/g olan erime ve katılma latent değeri yapılan DSC ölçümlerindeki deneyler ve analiz sonucuna göre 1% MWCNT (50-80nm) katkılandığında saf latent değerlerine göre, düşme görülmeyle birlikte 3% ve 5% oranlarında katkılandığında tekrar latent değerleri düzelmeye eğilimine girerek erime latentini sadece 2,18 J/g azalırken, katılma 10,9 J/g azalmaktadır. A82 FDM'ye 5% GNP (6-8nm) katkısı ile erime latentini 5,15 J/g ve katılma ise 8,35 J/g değerinde azalmaktadır. GNP(11-15nm) katkısı ile de **19,19** J/g erime latentinde azalma görülmekte ve daha hızlı katılma gerçekleşerek katılma **17,43** J/g latent azalması gerçekleşmektedir. GNP(1-5nm)'de ise erime latentini **15,04** J/g azalmakta ve katılma sıcaklığı

artarken latent değeri **17,02** J/g azalmaktadır. A82 NP/FDM lerde latent değerlerindeki en kararlı nano katkı parçacıkları GNP(6-8nm) ve MWCNT(50-80nm)' nin ısı etkileri paralellik göstermektedir.

- FDM A62'de MWCNT(50-80nm) katkısı ile nano parçacık kompozitin erime sıcaklık değerleri denge halini korurken katılaşmada hem latent değeri azalmakta, hem de katılaşma sonu sıcaklık düşmektedir. GNP (6-8nm) ile A62 katkılı olduğunda da erime latentini çok az değiştirip sabitlenirken katılaşma latent değerini MWCNT den 5 J/g daha düşük olmakta ve bu etkinin katı-katı bölgesinde GNP(6-8nm)'nin soğuma sürecini devam ettirmesinden kaynaklandığı söylenebilir.
- FDM A42 parafinin saf haldeki erime latent değeri, katılaşma latentinden düşük iken, MWCNT (50-80nm) nano parçacık katkılı olduğunda erime latentinde 2,34 J/g artma ve katılaşmada 3,28 J/g azalma ile her iki erime ve katılaşma değerleri aynı değere yakınsamaktadır. A42'ye GNP(6-8nm) katkılı olduğunda ise erime latent değerleri 5,76 J/g azalma gösterirken katılaşmada 6,32 J/g artmaktadır. Burada MWCNT erime ve katılaşma değerlerini dengelemektedir. GNP(6-8nm) ise FDM'nin katılaşma enerjisini artırarak daha çabuk soğumasını sağlamaktadır.
- FDM A42'nin %5 MWCNT (50-80nm) erime ve soğuma çevrim sayısı arttıkça latent değerleri artış göstermektedir. A42 çevriminde GNP(6-8nm) ise erime latentini değiştirmezken katılaşma latentini artırmaktadır.
- FDM A62 de ise %5 MWCNT (50-80nm) 20 çevrim denemesinde erime latentini ilk çevrimde azalır daha sonra sabit devam ederken katılaşma latentini artma eğilimindedir. GNP(6-8nm) etkisiyle erime sürecini erken sonlandırmakta, katılaşma sürecini geç başlatmakta ve latent değerleri hem erimede hem de katılaşmada azalma göstermektedir. Çevrim sayısı arttıkça latent değerleri sabit devam etmektedir. İletkenlik katsayısı yüksekliğinden dolayı faz değişim süresini etkilememektedir.
- FDM A82 de %5 MWCNT (50-80nm) etkisi ile çevrimle birlikte erime başlangıcı 3,75 °C ve katılaşma sonlanma sıcaklıklarını 3,64 °C düşürmekte fakat latent değerleri artması gerekirken azalma eğilimi

göstermektedir. GNP (6-8nm) ise erime başlangıç sıcaklığını 1,38 °C katılaşmada ise 1,96 °C azaltmakta, buna rağmen latent değerlerindeki değişim MWCNT (50-80nm) etkisine göre daha az gerçekleşmektedir.

FDM A82 parafinlere katılan nano parçacıklardan GNP(6-8nm) çok katmanlı grafen nano plakalar, diğer GNP(1-5nm) ile GNP(11-15nm) arasında optimum sayıda nano plaka katmanına sahip olduğundan en iyi ısıl performansı sağlamakta ve FDM A82 de gerçekleştirilen bu iletkenlik artışının diğer parafinler A62 ve A42 de nasıl değiştiği araştırılıp test edilerek GNP(6-8nm) etkisinin FDM tipinden bağımsız olarak ısıl iletkenliği en yüksek performansla artırdığı, MWCNT (50-80nm)'nin ise FDM lerin ısıl iletkenliklerini monoton artırdığı görülmüştür. Karbon nano parçacıkların GNP ve MWCNT lerde yüksek ısıl iletim katsayısının FDM içerisindeki etkinlik derecesi, GNP veya MWCNT lerin uzunluk / çap oranına göre artmaktadır. Buradan da en yüksek oranın GNP(6-8nm) de olduğu görülmektedir.

A42, A62 ve A82 de erime ve katılma latent değerlerinde, MWCNT (50-80nm) etkisi ile ısıl kararlılık sürekliliğini korumaktadır. GNP(6-8nm) etkisiyle, A62 kompozitinde katılma latent enerjisi azalmakta ve A42 kompozitinde katılma latent değeri artmaktadır. A82 de ise %5 nano parçacık katkısı ile erime latent değerinde GNP(11-15nm) için %8.9, GNP (1-5nm) için %9.4 azalmakta ve katılma latent değerlerindeki ise sırasıyla %10.9 ve %10.6 gibi büyük ölçekte azalma görülmektedir. Bu oranlar MWCNT (50-80nm) ve GNP (6-8nm) kullanıldığında erime latentinde sırasıyla %2 ve %3.2 azalma görülmekte, katılma latent ısı kapasitesinde ise bu değer %6.7 ve %5.2 olarak izlenmektedir. GNP (6-8nm) ile MWCNT (50-80nm) nano parçacıklarının oransal varlıkları ile latent değerlerindeki düşmenin ihmal edilebilir seviyede olduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Zi-Tao Yu , Xin Fang , Li-Wu Fan, Xiao Wang , Yu-Qi Xiao , Yi Zeng , Xu Xu , Ya-Cai Hu , Ke-Fa Cen** (2013). Increased thermal conductivity of liquid paraffin-based suspensions in the presence of carbon nano-additives of various sizes and shapes, *SciVerse ScienceDirect*, 53 277–285
- Yanbin Cui, CaihongLiu, ShanHu, XunYu** (2011) The experimental exploration of carbon nanofiber and carbon nanotube additives on thermal behavior of phase change materials.*Solar Energy Materials & Solar Cells*, 95 1208–1212
- Shadab Shaikh, Khalid Lafdi, and Kevin Hallinan** (2008).Carbon nanoadditives to enhance latent energy storage of phase change materials. *Journal of Applied Physics*. 103, 094302
- Li-Wu Fan , Xin Fang Xiao Wanga, Yi Zeng , Yu-Qi Xiao , Zi-Tao Yu Xu Xuc, Ya-Cai Hua, Ke-Fa Cen** (2013) Effects of various carbon nanofillers on the thermal conductivity and energy storage and energy storage properties of paraffin-based nanocomposite phase change materials. *Elsevier, Applied Energy* 110 163–172
- Xin Fang, Li-Wu Fan, Qing Ding, Xiao Wang, Xiao-Li Yao, Jian-Feng Hou, Zi-Tao Yu, Guan-Hua Cheng, Ya-Cai Hu, and Ke-Fa Cen** (2013) Increased Thermal Conductivity of Eicosane-Based Composite Phase Change Materials in the Presence of Graphene Nanoplatelets, *energy & fuels*, 27, 4041–4047
- Fazel Yavari, Hafez Raeisi Fard, Kamyar Pashayi, Mohammad A. Rafiee, Amir Zamiri, Zhongzhen Yu, Rahmi Ozisik, Theodorian Borca-Tasciuc, and Nikhil Koratkar** (2011) Enhanced Thermal Conductivity in a Nanostructured Phase Change Composite due to Low Concentration Graphene Additives, *The Journal of Physical Chemistry*, 115, 8753–8758



- Sumin Kim , LawrenceT.Drzal** (2009) High latent heat storage and high thermal conductive phase change materials using exfoliated graphite nanoplatelets, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93, 136–142
- Min Li** (2013) A nano graphite/parafin phase change material with high thermal conductivity, *Elsevier Applied Energy*, 106, 25–30
- Jia-Nan Shi, Ming-Der Ger, Yih-Ming Liu, Yang-Cheng Fan, Nian-Tsyrr Wen, Chaur-Kie Lin, Nen-Wen Pu** (2013) Improving the thermal conductivity and shape-stabilization of phase change material using nanographite additives. *SciVerse ScienceDirect, Carbon* 51,365-372
- Jinglei Xiang, LawrenceT.Drzal** (2011) Investigation of exfoliated graphite nanoplatelets (xGnP) in improving thermal conductivity of parafin wax-based phase change material. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 95 1811–1818
- Yin-Ju Chen, Duc-Dung Ngyugen, Ming-yuan Shen, Ming-Chuen Yip, Nyan-Hwa Tai.** (2013) Thermal characterizations of the graphite nanosheets reinforced parafin phase-change composites. *Elsevier, Composites:Part A*, 44, 40-46
- S. Pincemina, R. Olivesa, X. Pya, M. Christ** .(2008) Highly conductive composites made of phase change materials and graphite for thermal storage. *ScienceDirect Solar Energy Materials and Solar Cells*,92 603–613
- Vellaisamy Kumaresan , Ramalingam Velraj , Sarit K. Das** (2012) The effect of carbon nanotubes in enhancing the thermal transport properties of PCM during solidification. *Heat Mass Transfer*, 48:1345–1355
- Shadab Shaikh, Khalid Lafdi, and Kevin Hallinan** (2008) Carbon nano additives to enhance latent energy storage of phase change materials. *Journal of Applied Physics*. 103, 094302

- Tun-Ping Teng and Chao-Chieh Yu** (2012) The Effect on Heating Rate for Phase Change Materials Containing MWCNTs. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 0.7763/IJCEA..V3.214
- JifenWanga, Huaqing Xiea, Zhong Xinb** (2009) Thermal properties of paraffin based composites containing multi-walled carbon nanotubes. *Elsevier, Thermochemica Acta*, 488 39–42
- Hasan Babaei, Pawel Keblinski, J.M.Khodadadi** (2013) Thermal conductivity enhancement of paraffins by increasing the alignment of molecules through adding CNT/ graphene. 58, 209-216
- Jifen Wang , Huaqing Xie, Zhong Xin , Yang Li , Lifei Chen** (2010) Enhancing thermal conductivity of palmitic acid based phase change materials with carbon nanotubes as fillers.*Elsevier, ScienceDirect Solar Energy*. 84, 339–344
- Jifen Wang , Huaqing Xie, Zhong Xin , Yang Li** (2010) Increasing the thermal conductivity of palmitic acid by the addition of carbon nanotubes. *Elsevier, ScienceDirect Carbon*, 48 3979 –3986
- J. L. Zeng, Z. Cao , D. W. Yang , F. Xu , L. X. Sun , X. F. Zhang and L. Zhang** (2009) Effects of MWCNT's on phase change enthalpy and thermal conductivity of a solid-liquid organic PCM. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 95 2, 507–512

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Eyup Erdiş
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas 23.06.1966
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim	0535 777 00 89
E-posta Adresi	eyuperdis@hotmail.com



### Eğitim ve İş Tecrübesi

2014-2017 Cumhuriyet Üniversitesi F.B.E. Enerji Sistemleri ABD Yüksek Lisans

1999-2008 EKOJEN A.Ş. Enerji ve Akaryakıt İstasyonları

1992- 1998 SİSTEM A.Ş. Teknik Müdür.

1990-1991 TOSHIBA Yazılım Destek Mühendisi

1991 İ.T.Ü F.B.E. Uçak İnşaatı ABD. İngilizce Eğitimi.

1983-1990 İ.T.Ü Uçak ve Uzay Bil. Fak. Uçak Mühendisliği

1990 Lisans Bitirme Tezi: Güneş Pilleri Üretimi

1973-1983 İlk, orta ve lise eğitimi, Sivas.

Bilgisayar : MS Ofis (Excel, Word, P.P ), AutoCad

Fortran4, C++, Matlab

