

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik ve bilimsel alandaki gelişmelerin hızla ilerlemesi enerji ihtiyacını arttırmış ve buna paralel olarak enerji kaynakları da hızla tükenmeye başlamıştır. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmının karşılanmasında kullanılan ve birincil enerji kaynağı olarak adlandırılan bu kaynaklar (katı yakıtlar, petrol, doğalgaz, hidrolik enerji ve nükleer enerji) tükenebilir olmalarının yanı sıra kullanımları sırasında çevre kirliliğine de yol açmaktadırlar (Keleş, 2003).

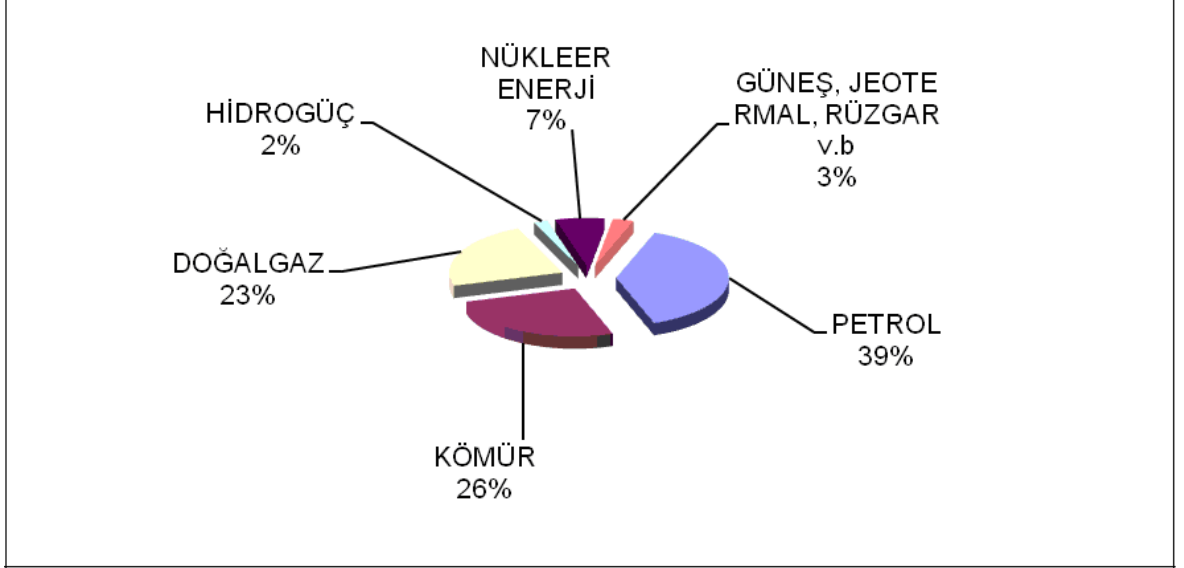
Fosil kökenli yakıtların hızlı bir şekilde azalmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgâr, su gücü, jeotermal v.b) üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç arttığı için enerjinin sürdürülebilir özellikte olması gerekir. Yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilir oldukları için bu kaynaklara olan ihtiyaç gittikçe artmaktadır.

Dışa bağımlılığı olmayan, maliyeti çok daha düşük olan, çevre kirliliğine sebep olmayan ve sürekli mevcut olan yenilenebilir enerji kaynaklarını 3 gruba ayırmak mümkündür.

1. Bir ısı yenilenmesinde türeyen enerjiler: “jeotermal, güneş enerjisi, denizlerin yüzeyi ile aşağı kısımlarının sıcaklıkları farkından oluşan okyanusların ısı gücü.”
2. Bir hareket yenilenmesinden türeyen enerjiler: “rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, gelgit enerjisi, dalgalar ve akımlar enerjisi.”
3. Bir madde yenilenmesinden türeyen enerji: “ biyokütle grubu yani fotosentez yoluyla türeyen bitkisel maddelerden elde edilen enerjidir” (Tunçbilek, 2005).

Bugüne kadar alternatif enerji kaynaklarından istenilen düzeyde yararlanılamamıştır. Fakat jeotermal, güneş, rüzgâr ve biyokütle enerjisi teknolojilerinin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır.

Özellikle gelişmiş ülkelerde ısı enerjisinin yeraltında depolanması, hızlı bir şekilde uygulanırken, güneş enerjisi depolama teknolojisinde yoğun araştırmaların sürdürüldüğü gözlenmektedir.



Şekil 1.1. 2000 yılı verilerine göre Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı (World Energy Outlook, 2002, IEA).

Enerji, ister yenilenebilir ister yenilenemeyen enerji kaynaklarından elde edilmiş olsun; mevcut enerjinin korunması, depolanması ve depolanan enerjinin ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanıma sunulması çok önemlidir. Bu yüzden bu konu üzerine yapılan çalışmaların esas amacı; enerji depolamadaki verimin artırılması ve ihtiyacı karşılayacak en uygun dönüşümün geliştirilmesidir. Güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliği olmadığından dolayı elde edilen enerjinin bu kaynakların olmadığı zamanlarda kullanılabilmesi için, depolanıp saklanabilmeleri gereklidir ve bu da ancak enerjinin, başka enerji formlarına dönüştürülmesi ile mümkündür (TÜBİTAK, 2003).

Isıl uygulamalarda elde edilen enerjinin etkili ve yaygın olarak kullanılmasında; verimli, ekonomik ve güvenli bir ısı depolama metodu önemli rol oynamaktadır. Isı; duyulur, gizli ve termokimyasal olmak üzere üç şekilde depolanabilir.

Isının bir kimyasal maddede sabit bir faz geçiş sıcaklığında “faz değişimi yoluyla gizli ısı halinde depolanması” depolanması diğer depolama metotlarına göre daha caziptir. Faz değişimi yoluyla enerji depolama konusunda yapılan çalışmaların bir kısmı, enerjinin uygun iklim şartlarında depolanabilmesi için uygun faz değişim maddelerinin (FDM) geliştirilmesi ve zenginleştirilmesi konusunda olmuştur.

Bu tip FDM’ler dört önemli avantaja sahiptir (Karaipekli, A., 2006):

1. FDM polimer örgü yapısı içerisine hapsedildiği için, karışımın sıcaklığı FDM’nin erime sıcaklığının üzerinde iken, herhangi bir FDM sızıntısı gözlenmez. Bundan dolayı bu karışımlar şekilce kararlı FDM’ler olarak adlandırılırlar.
2. Bu tip karışımlarda FDM’ler ek bir depolanma işlemini gerektirmezler.
3. Isı depolama ünitesinde ısı transfer akışkanı ile doğrudan temasa imkn sağladığından enerji depolama sistemlerinde verimliliği arttıırırlar.
4. Karışım istenilen boyutlarda kolaylıkla ve düşük maliyetle hazırlanabilir.

Bu güne kadar organik FDM olarak genellikle parafinler, yağ asitleri ve tuz hidratlar yaygın biçimde kullanılmışlardır. Bu malzemeler faz değişim özellikleri dışında başka bir özellik taşımazlar. Bu çalışmada, fonksiyonel özelliği bulunan enerji depolama malzemelerinin asit-üre ve asit-tiyoüre yoğunlaşma yöntemiyle enerji depolama için FDM bileşiklerinin sentezlenmesi ve ısıl özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Fonksiyonel özelliği sayesinde farklı biçimde de kullanılabilcek bir materyal üretilmiş olacaktır. Fonksiyonel özelliğinden faydalanarak FDM’nin birtakım ekstra özelliklerini geliştirmek mümkün olabilir. Bu çalışmada elde edilecek pozitif bulgular göz önünde bulundurularak, yenilenebilir enerji kaynaklarının depolanması konusunda üre/yağ asidi ve tiyoüre/yağ asidi yoğunlaşma bileşiklerinin kullanılabilmesi nerilebilecektir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

2.1. Enerji Depolama Metotları

Günümüzde bilim insanlarının en yoğun uğraştıkları konuların başında enerjinin depolanması gelmektedir. Bunun üzerine yapılan çalışmalarda başlıca, enerjinin verimli bir şekilde depolanması ve ihtiyaç duyulduğunda depolanan enerjinin kullanılması amaçlanmaktadır. Depolanan enerjinin gerektiği zamanlarda etkili ve yaygın olarak kullanılmasında verimli, ekonomik ve güvenli bir enerji depolama metodu önemli bir rol oynamaktadır. Enerji tablo 2.1.'de gösterildiği gibi mekanik, elektrik, kimyasal ve ısı enerji depolama gibi farklı metotlarda depolanabilir. Bu enerji depolama yöntemleri arasında en verimli ve ekonomik olanı ısı enerji depolama yöntemidir.

Tablo 2.1. Enerji depolama çeşitleri (Arslan, 1993).

Isı Enerjisi Depolama	Mekanik Enerji Depolama	Elektrik ve Magnetik Enerji Depolama	Kimyasal Enerji Depolama
a) Duyulur ısı depolanması	a) Potansiyel depolama	a) Elektriksel kapasitör içinde depolama	a) Sentetik yakıtlar
b) Gizli ısı depolanması	b) Kinetik depolama	b) Elektromagnetlerde depolama	b) Termokimyasal
	c) Sıkıştırılmış gaz içinde depolama	c) Süperiletken bobinler ve magnetlerde depolama	c) Elektrokimyasal
			d) Fotokimyasal

Isı enerji; bir maddenin iç enerjisinde değişim meydana getirerek duyulur, gizli ve termokimyasal olarak 3 şekilde depolanır. Duyulur ısı, bir katı veya sıvının sıcaklığının artırılması yoluyla depolanır. Gizli ısı depolama yöntemi ise maddenin katı-sıvı veya sıvı-gaz ya da tersine bir faz değişimine uğramasıyla enerjinin soğutulması ya da salınması esasına dayanır.

Termokimyasal enerji depolama ise enerjinin tamamen tersinir bir kimyasal reaksiyonda kopan ve yeniden oluşan kimyasal bağlarda soğurulması ve salınmasına dayanır. Bu durumda sistemde depolanan ısı, reaksiyonun endotermik ısısına, dönüşüm derecesine ve depolama maddesinin miktarına bağlıdır.

2.1.1. Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı depolama yöntemi, katı ya da sıvı maddelerin ısı kapasitesi özelliğinden yararlanılarak, sıcaklıklarının artırılması esasına dayanır. Sıcaklığı T_1 ve kütlesi m olan bir madde T_2 sıcaklığına kadar ısıtılırsa, maddenin ısı kapasitesi özelliğinden dolayı depolanan duyulur ısı miktarı aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

Burada V (m^3) maddenin hacmini, ρ (kg/m^3) maddenin yoğunluğunu ve C_p (kJ/kg) sabit basınçtaki özgül ısıyı göstermektedir. Yukarıdaki bağıntıdan görüldüğü gibi ΔT sıcaklık farkında ve belli bir hacimde daha fazla ısı enerjisi depolamak için maddenin hacimsel özgül ısısı ($\rho \cdot C_p$) büyük olmalıdır. Ancak duyulur şekilde ısı depolanmasında faydalanan maddenin hacimsel özgül ısısının büyük olmasının yanında, yanma ve alevlenme özelliğinin olmaması, maddenin uzun süre (10–15 yıl) özelliklerini muhafaza etmesi, toksik ve korozyon etkisinin bulunmaması istenir. Ayrıca maddenin kolay temin edilebilir ve ucuz olması da gerekir. Duyulur ısı depolamada enerji; su, toprak, kum, seramik tuğlalar, kaya yatakları, uygun yağ, hava gibi depolama ortamlarından faydalanılarak depolanır. Pratikte temin edilebilme kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle daha çok su veya çakıl taşı tercih edilmektedir. Tablo 2.2.'de duyulur ısı depolama maddelerinden bazılarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Duyulur ısı depolama maddelerinden bazılarının özellikleri.

Madde	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (kJ/kgK)
Su	1000	4,198
Çakıl taşı	2500–3500	0,88
Demir	7860	0,50
Beton	2250	0,65
Su-Etilen Glikol (50/50)	1050	3,47

Duyulur ısı depolama yönteminde enerji miktarı, depo giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın, depolama ortamının büyüklüğünün ve ortamın ısı kapasitesinin artmasıyla artar. (Dinçer ve Dost, 1996). Duyulur ısı depolama sistemlerinde ısı yükleme ve boşaltma işlemlerinin tersinir olması bu sistemlerin en cazip özelliğidir. Yani, sistemin çalışma ömrü boyunca bu maddelerin ısıyı depolama ve boşaltma özellikleri devam eder.

Duyulur ısı depolama genel işletimleri sırasında bazı dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir (Karaipekli, A., 2006):

1. Isı depolama esnasında depolama sıcaklığı sürekli olarak arttığından sistemdeki ısı kayıpları fazladır.
2. Sistemden ısı çekerken depolama sıcaklığı sürekli düştüğünden ısı akış dağılımı oldukça düzensizdir.
3. Isı depolama işlemi çevre sıcaklığından oldukça yüksek olduğu için iyi bir yalıtım gereklidir (Keleş, 2003).

2.1.2. Gizli Isı Depolama Metodu

Maddelerin faz değişimi esnasında, iç enerjilerindeki artış ile sabit sıcaklıkta faz değiştirerek enerji depolanması olayına gizli ısı depolama denir. Gizli ısı depolama sistemlerinde; sabit sıcaklık aralığında eriyerek veya buharlaşarak faz değişimine uğrayan bir madde (FDM) kullanılır. Gizli ısı depolama ortamı olarak kullanılan FDM'nin enerji depolama kapasitesi aşağıdaki eşitlikte verilir.

$$Q = m\Delta H_E + \int_{T_1}^{T_E} mC_p dT + \int_{T_E}^{T_2} mC_p dT \quad (2)$$

$$= m\Delta H_E + \int_{T_1}^{T_E} mC_p dT + \int_{T_E}^{T_2} mC_p dT \quad (3)$$

Gizli ısı depolama yöntemi duyulur ısı depolama ile mukayese edildiğinde bazı üstün özelliklere sahip olduğu görülür. Bunların en önemlisi faz değişimli ısı enerji depolama maddelerinde belirli bir miktarda ısının depolanması için gerekli hacmin, aynı miktar ısının duyulur ısı şeklinde depolanması için gerekli hacimden daha küçük olmasıdır. Bu yöntemin bir diğer avantajı da, depodan ısı çekilme esnasında depo sıcaklığının yaklaşık olarak sabit kalmasıdır. Fakat duyulur ısı depolamaya göre maliyeti daha yüksektir (Kılıç, 1983).

Sabit bir sıcaklıkta ısının soğurulması ya da salıverilmesi şeklinde gerçekleşen gizli ısı depolama metodunda beş farklı faz değişim tipine rastlanır: a) katı-katı b) katı-sıvı c) sıvı-gaz d) katı-gaz e) sıvı-sıvı. Fakat sadece pratikte uygulanabilir olanlar katı-sıvı ve katı-katı faz değişimleridir (Wang ve ark. 2000).

Katı-gaz ve sıvı-gaz geçişleri daha yüksek erime gizli ısılarına sahip oldukları için faz geçişi esnasında hacim değişiminin büyük olmasıyla birlikte depolama kabı problemini ortaya çıkarır ve ısı enerji depolama sistemlerinde potansiyel kullanımını sınırlar. Hacimde meydana gelen büyük değişim sistemi daha karmaşık hale getirir. Katı-katı geçişlerinde enerji; madde kristal halinden diğerine dönüştüğü zaman depolanır. Bu geçiş genellikle katı-katı geçişinden daha küçük bir gizli ısı değerine ve hacim değişimine sahiptir.

Katı-katı geçişli FDM’ler daha yumuşak depolama kabı ve daha iyi dizayn esnekliğine sahiptirler (Wang ve ark., 2000; Pillai ve ark., 1976).

Yukarıda sözü edilen faz değişim tiplerinden “katı-sıvı” faz değişimi, bu dezavantajların hiç birini içermez. Ayrıca bu faz değişimi esnasında hacim değişimi oldukça küçüktür (% 10 veya daha az) ve bu tip faz değişiminden yararlanılarak çalışan sistemleri tasarlamak diğerlerine oranla daha basittir (Abhat, 1983).

Gizli ısı depolama metodunun diğer metodlara göre üstün yanlarını genel olarak şöyle sıralamak mümkündür:

1. Duyulur ısıya göre ısı depolama kapasitesi daha yüksektir ve kullanılan ısı deposu hacmi daha küçüktür.
2. FDM’nin birim kütlesinin ısı depolama kabiliyeti daha yüksektir.
3. FDM’nin faz değişim sıcaklığı, sabit sıcaklıkta depolanması ve geri kazanımı için uygundur.
4. Sabit sıcaklıkta ısı gerektiren çalışmalar için uygundur (Mazman, 2000).

2.2. Gizli Isı Depolama Maddeleri

Uygun bir sıcaklık aralığında faz değişimine uğrayan maddeler (FDM) aynı zamanda gizli ısı depolama maddeleridir. Ortam sıcaklığı artarken FDM katıdan sıvıya faz değiştirir. Faz değişimi endotermik bir işlem olduğu için FDM ısı absorplar. Faz değişim sıcaklığına ulaşıldığı zaman depolanan ısı maddeyi eritmeye başlar. Erime işlemi tamamlanıncaya kadar sıcaklık sabit kalır ve erime süresince depolanan ısı, gizli ısı olarak adlandırılır. Gizli ısı depolama maddeleri, çok küçük sıcaklık değişimi ile büyük miktarda ısı depolayabildikleri için yüksek depolama yoğunluğuna sahiptirler. Faz değişimleri sabit sıcaklıkta meydana geldiğinden dolayı enerjiyi sabit bir sıcaklıkta depolarlar. Gizli ve duyulur ısı depolama maddeleri karşılaştırıldığı zaman gizli ısı depolama maddelerinin tipik olarak 5-10 kat daha yüksek bir depolama yoğunluğuna sahip olduğu görülür (Garg ve ark., 1985; Hasnain 1998).

Gizli ısı depolama yöntemi geniş bir sıcaklık aralığına sahiptir ve FDM olarak kullanılacak birçok maddenin erime sıcaklıkları ve erime ısıları bilinmektedir. Isıl enerji depolama sistemlerinin dizaynında kullanılacak FDM istenilen termodinamik, kinetik, kimyasal ve ekonomik özelliklere sahip olmalıdır (Hale ve ark., 1971; Garg ve ark., 1985; Budhi ve ark., 1994). Gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılan FDM’lerde olması istenilen özellikler aşağıdaki gibidir (Garg ve ark., 1985; Lane, 1983).

(A) - Isıl-fiziksel özellikler

- İstenilen sıcaklık aralığında erime sıcaklığına sahip olmalı
- Birim hacim ya da kütle başına yüksek erime gizli ısıya sahip olmalı
- Duyulur ısı depolamaya ek olarak yüksek özgül ısıya sahip olmalı
- Yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmalı
- Depolama kabı problemini azaltmak için çalışma sıcaklığında düşük buhar basıncına sahip olmalı ve faz değişiminde küçük hacim değişimi göstermeli
- Düzenli erime ve katılaşma davranışı göstermeli

(B) - Kinetik Özellikler

- Sıvı fazın aşırı soğumasını önlemek için çekirdekleşme hızı yüksek olmalı
- Isının hızlı geri kazanımı için kristal büyüme hızı yüksek olmalı

(C) - Kimyasal Özellikler

- Kimyasal kararlılık göstermeli
- Tamamen tersinir erime/katılaşma dönüşümüne sahip olmalı
- Çok sayıda erime/katılaşma dönüşümünden sonra kimyasal kararlılık göstermeli
- Yapı malzemelerine karşı korozyon olmamalı
- Toksik, yanıcı ve patlayıcı olmamalı

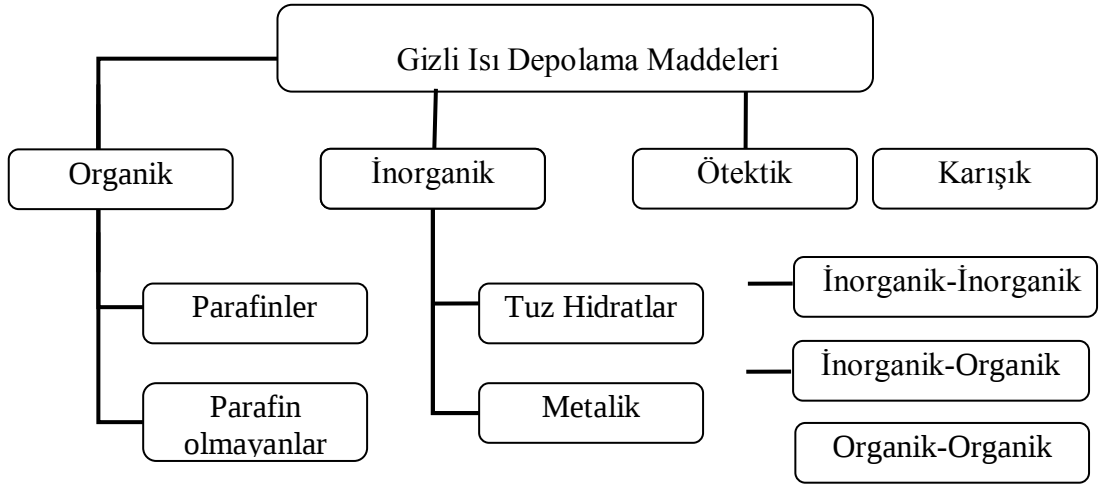
(D) - Ekonomik Özellikler

- Kolay temin edilebilir olmalı
- Düşük maliyete sahip olmalı

2.3. FDM'lerin Sınıflandırılması

FDM'ler genel olarak Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilirler. Erime sıcaklığı ve erime gizli ısı bakımından FDM olarak tanımlanabilecek çok sayıda organik, inorganik ve bunların ötektik karışımları mevcuttur. İdeal bir ısı depolama ortamı için gerekli tüm özelliklere sahip FDM mevcut olmadığı için mevcut maddelerin kullanılması ve sistemin tasarımı ile zayıf olan özelliklerin iyileştirilmesi gerekir. Örneğin FDM'lerin ısı iletkenliğini arttırmak için metalik kanatçıklar kullanılabilir.

Depolama maddelerine çekirdekleştirici ilavesi ile aşırı soğumanın üstesinden gelmek mümkündür. Ayrıca uygun kıvamda FDM kullanılarak düzensiz erime engellenebilir. FDM'ler çok farklı ısı ve kimyasal davranış göstermelerinden dolayı her bir alt grubun özellikleri aşağıda detaylı olarak tartışılmıştır.



Şekil 2.1. Gizli ısı depolama maddelerinin sınıflandırılması (Zalba, 2003).

2.3.1. Parafinler

C_nH_{2n+2} tipi normal parafinler çok benzer özelliklere sahip doymuş hidrokarbon ailesindendir. Karbon sayıları C_5 ve C_{15} arasında olan parafinler sıvı haldedirler ve geriye kalanlar katı wax kıvamındadırlar.

Parafin wax en çok kullanılan ticari organik ısı depolama maddesidir (Lane, 1983; Hale ve ark., 1971). Parafin wax'lar başlıca erime sıcaklıkları 23–67 °C arasında olan hidrokarbon zincirlerinden oluşurlar (Abhat, 1983). Ticari derecedeki parafin wax'lar petrol destilasyonundan elde edilirler. Bu nedenle saf halde değildirler ve farklı hidrokarbonların bir karışımı şeklindedirler. Parafinlerde genelde ortalama hidrokarbon zinciri ne kadar uzun ise, erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları da o kadar yüksektir (Himran ve ark., 1994). Bazı parafinlerin özellikleri tablo 2.3.'de verilmiştir. Parafinler bir çok üretici firmadan kolaylıkla temin edilebilirler ancak maliyetleri genelde tuz hidratlardan daha yüksektir (Lane, 1983; Hale ve ark., 1971).

Avantajları: Parafin wax'lar erime süresince faz ayrımı göstermezler ve kimyasal olarak kararlıdır. Sharma ve ark., (1998,1999;2002); ticari derecedeki parafin wax'ların 1500 kez tekrarlanan ısı dönüşümünden sonra ısı fiziksel özelliklerindeki değişimler bakımından oldukça güvenilir olduklarını rapor etmişlerdir. Ayrıca tekrarlanan erime/katılaşma dönüşümlerinden sonra ısı özelliklerinde düzenli azalma göstermezler. Parafin wax'lar tablo 2.3.'de gösterildiği gibi yüksek erime gizli ısılarına sahiptirler. Aşırı soğuma eğilimi göstermezler bu nedenle çekirdekleştirici madde gerektirmezler (Lane, 1983; Budhi ve ark., 1994; Hasnain, 1998).

Dezavantajları: Parafinler tablo 2.3.'den görüldüğü üzere katı halde düşük ısı iletkenliğe sahiptirler. Ancak düşük ısı iletkenliğe sahip olmaları katılaşma işlemi süresince ısı transfer hızının yüksek olması gerektiği durumlarda büyük bir problem teşkil etmektedir. Velraj ve ark., (1998); bu problemin kanatçıklı depolama kapları, metalik dolgular ya da gizli/duyulur ısı depolama sistemlerinin bir kombinasyonu kullanılarak azaltılabileceğini rapor etmişlerdir. Hale ve ark., (1971); sistem performansını arttırmak için alüminyumdan yapılmış bal petekleri geliştirmişlerdir.

Parafinler katı-sıvı faz değişimi esnasında büyük hacim değişimi gösterirler. Bu özellik depolama kabının tasarımında birçok probleme sebep olur (Hasnain, 1998). Tuz hidratların aksine ticari parafinler genellikle iyi belirlenebilen bir erime noktasına sahip değildir.

Parafinler yanıcıdır fakat bu sorun özel kapların kullanılması ile kolaylıkla giderilebilir (Himran ve ark., 1994; Hale ve ark., 1971, Hasnain, 1998).

Tablo 2.3. Bazı parafinlerin erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları (Lane, 1983; Abhat, 1983; Garg ve ark., 1985; Buddhi, 1994; Hale ve ark., 1971; Sharma, 1999).

Bileşik	“C”atomu sayısı	Erime Sıcaklığı(°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Gizli ısı (kJ/kg)
n-Dodekan	12	-12	750	0,21 ^K	-
n-Tetradekan	14	4,5–5,6	771		231
n-Pentadekan	15	10	768	0,17	207
n-Hekzadekan	16	18,2	774	0,21 ^K	238
n-Oktadekan	18	28,2	814 ^K , 775 ^S	0,35 ^K , 0,149 ^S	245
N-Nonadekan	19	31,9	912 ^K , 769 ^S	0,21 ^K	222
n-Dokosan	22	44			249
n-Trikosan	23	47			234
n-Tetrakosan	24	51			255
n-Pentakosan	25	54			238
Parafin wax	-	32	785 ^K , 749 ^S	0,514 ^K , 0,224 ^S	251
n-Hekzakosan	26	56	770	0,21	257
n-Heptakosan	27	59	773		236
n-Oktakosan	28	61	910 ^K , 765 ^S		255
n-Triakontan	30	65			252
n-Dotrikontan	32	70			-

2.3.2. Tuz Hidratlar

Tuz hidratlar en eski ve en çok incelenen ısı depolama maddeleridir (Lane, 1983). Tuz hidratlar, katılaştığında bir kristalin matriks ile birleşen tuz ve suyundan oluşur. Saf halde veya ötektik karışım şeklinde kullanılabilirler (Abhat, 1983).

Enerji depolama amaçlı en sık kullanılan tuz hidratların özellikleri Tablo 2.4.'de verilmiştir. 15-117°C sıcaklık aralığında erime noktasına sahip birçok farklı tuz hidrat vardır (Lane, 1983).

FDM'lerin önemli bir grubunu tuz hidratlar oluştururlar ve bu maddelerin gizli ısı ısı depolama sistemlerinde kullanımı yoğun olarak araştırılmaktadır. Tuz hidratlar düzenli, düzensiz ve yarı düzenli olmak üzere üç tip erime davranışı gösterirler. Düzenli erime susuz tuz erime sıcaklığında hidrat suyunda tamamen çözündüğü zaman meydana gelir. Düzensiz erime ise susuz tuz erime sıcaklığında hidrat suyunda tamamen çözünmediği zaman meydana gelir. Yarı düzenli erime ise katı ve sıvı faz, faz değişimi süresince dengede olduğu zaman meydana gelir.

Tablo 2.4. Enerji depolamada en sık kullanılan tuz hidratlar.

Tuz hidratlar	Erime noktası	Yoğunluk (kg/m ³)	Erime ısısı (J/g)
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	31,6 °C	1460,0	252,16
Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	32–36 °C	1440,0	248,48
CaCl ₂ .6H ₂ O	27–32 °C	1710,0	187,49
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	36,0 °C	1520,0	274,22

Avantajları: Tuz hidratlar diğer ısı depolama maddelerinden ayırt eden en önemli özellikleri keskin bir erime noktasına ve yüksek ısı iletkenliğe sahip olmalarıdır. Isıl iletkenliklerinin yüksek olması depolama ünitesi içinde ve dışında ısı transferini arttırmaktadır. Yüksek erime gizli ısısına sahip olmaları, ısı depolama sisteminin hacmini azaltmaktadır. Bu yüzden tuz hidratlar diğer FDM'lerden daha küçük hacim değişimi gösterirler. Hacim değişiminin küçük olması depolama kabı tasarımı için kolaylık sağlamaktadır. Tuz hidratların maliyetlerinin düşük olması ve kolaylıkla temin edilebilir olmaları ısı depolama uygulamaları için oldukça cazip olduklarını göstermektedir (Lane, 1989). CaCl₂.6H₂O ve Na₂SO₄.10H₂O maliyeti yüksek olmayan ve bol miktarda bulunan iki tuz hidrattır (Lane, 1983).

Dezavantajları: Tuz hidratların sahip oldukları en büyük dezavantajları ise faz ayrımı ve aşırı soğuma davranışı göstermeleridir. Diğer tuz hidratların ya da dehidrat tuzların oluşmasına faz ayrımı denir ve bu olay mevcut ısı depolama kapasitesini azaltır.

Faz ayrımının meydana gelmesi, karışımın ısı depolama karakteristiklerini negatif olarak etkilemesine ve ısı depolama karakteristiklerini zamanla azaltmasına rağmen bu problem jelleştirici ve kalınlaştırıcı karışımların kullanılması ile belirli derecede azaltılabilir (Abhat, 1983; Lane, 1983).

Tuz hidratlar diğer FDM'ler gibi donma noktalarında kristallenmeye başlamadıkları için aşırı soğuma davranışı gösterirler. Bu sorun ısı depolama ortamında kristal büyümesini başlatmak için uygun çekirdekleştirici maddelerin kullanılmasıyla giderilebilir. Lane (1983); bilinen birçok tuz hidrat için geniş kapsamlı bir çekirdekleştirici madde listesi önermiştir. Abhat (1983); $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 'un 1000 erime/katılaşma dönüşümünden sonra erime gizli ısısında %73'ün üzerinde azalma olduğunu ve $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'un açık havada sadece iki dönüşümden sonra ayrıştığını rapor etmiştir.

Tuz hidratlarda karşılaşılan diğer bir problem ise ısı enerjisi depolama sistemlerinde yaygın olarak kullanılan metal kaplarda korozyona neden olmalarıdır (Abhat, 1983). FDM'nin depolama kabı ile uygunluğu, kullanılmadan önce kontrol edilmelidir.

2.3.3 Polimerler

2.3.3.1 Çapraz-Bağlı Polietilen

Çapraz bağlı polietilen (PE), sıvı hale dönmesini engelleyen zayıf çapraz bağlara sahip olan ve plastik şişelerde kullanılan polietilene (PET) çok benzer bir maddedir. Kristalin yapısı bozulup tekrar oluştuğu zaman enerji depoladığı için katı-sıvı FDM'ye benzer. Çapraz bağlı PE katı-sıvı FDM'den daha kararludur ve başka bir madde içinde depolanmaksızın kullanılabilir.

Avantajları: Çapraz bağlı PE diğer FDM'lerden daha yüksek maliyete sahip olmasına rağmen depolama kabı gerektirmez. Bu nedenle ısı depolama sisteminde kullanılabilmesi için düşük maliyette elde edilmeleri gerekir. Çapraz bağlı PE toksik değildir ve kimyasal olarak inerttir.

Dezavantajları: Çalışma sıcaklıklarının yaklaşık 110-140°C sıcaklık aralığında olması nedeniyle yüzey ve su ısıtma gibi bazı uygulamalar için çok yüksektir. Isı depolama uygulamalarında kullanılabilecek çapraz bağlı PE şu an için mevcut değildir.

2.3.3.2. Polialkoller

Polialkoller, daha düşük sıcaklıkta heterojen halden daha yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik şeklinde bir yapı haline dönüşümü ile enerjiyi depolar (Wang ve ark., 2000). Polialkoller küçük hacim değişimi gösterme, akma davranışı ve faz ayrışması göstermeme gibi katı-sıvı FDM'lerin üzerinde birçok avantaja sahiptirler (Wang ve ark., 2000). Bu avantajların yanında düşük gizli ısı değerine, yüksek faz değişim sıcaklığına ve yüksek maliyete sahip olma gibi dezavantajları vardır. Wang ve ark., (2000); polialkollerin erime sıcaklığını istenilen bir çalışma sıcaklığına ayarlamak için birbirleriyle karıştırılabileceğini (örneğin Neopentil Glikol(NPG)/Penaeritritol(PE) ve Neopentil Glikol(NPG)/Trihidroksi metil–Amino metan (TAM) sistemleri) rapor etmişlerdir.

2.3.4. Metaller ve Alaşımlar

Metaller ve alaşımlar, maliyetleri yüksek ve depolama güçlüğü gösteren maddelerdir ve FDM olarak pek kullanılmazlar. Buna rağmen ısıl iletkenlikleri çok iyidir. Alaşımların çoğunun faz değişim sıcaklıkları 343 ile 956 °C arasındadır. Fakat metaller ve alaşımlar depolama ortamı olarak pek tatmin edici özelliklere sahip olmadıkları için kullanımları pek tercih edilmemektedir.

2.3.5. Parafin Olmayan Organik Maddeler

Parafin olmayan organik maddeler; (yağ asitleri, esterler, alkoller ve glikoller) gizli ısı depolama için kullanılan maddelerin en geniş kategorisini oluştururlar.

Lane (1983;1989), Abhat (1983) ve Buddhi ve ark., (1994); organik maddeler üzerine yaptıkları yoğun araştırmalar sonucu enerji depolama için uygun çok sayıda ester, yağ asitleri, alkoller ve glikoller belirlemişlerdir. Bu organik maddeler yağ asitleri ve diğer parafin olmayan organik maddelerin alt guruplarıdır.

Parafin olmayan organik maddeler çeşitli özelliklere sahip çok sayıda FDM'den oluşur ve her biri çok benzer özelliklere sahiptirler. Parafin olmayan organik maddelerin erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları Tablo 2.5.'de listelenmiştir.

Tablo 2.5. Parafin olmayan bazı bileşiklerin erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları (Lane, 1983; Abhat, 1983; Garg ve ark., 1985; Buddhi, 1994; Hale ve ark., 1971; Sharma, 1999).

Bileşik adı	Erime Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Gizli Isı (kJ/kg)
Formik asit	7,8	1226,7 ^{15°C}	247
Asetik asit	16,7	1050 ^{20°C}	187
Gliserin	17,9	1260 ^{20°C}	198,7
Polietilen glikol 600	20–25	1100 ^{20°C}	146
Kaprilon	40	-	259
1-Sikloheksiloktadekan	41	-	218
4-Heptadekanon	41	-	197
3-Heptadekanon	48	-	218
2-Heptadekanon	48	-	218
Metil behenat	52	-	234
Bal mumu	61,8	950	177
Asetamit	81	1159	241
4-Heptadekanon	41	-	197

Enerji depolama ortamı olarak kullanılan parafin olmayan organik maddelerin genel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Yüksek füzyon ısıları vardır.
2. Alevlenme özellikleri yoktur.
3. Düşük ısı iletkenliğe sahiptirler.
4. Düşük oranda zehirlenme özelliğine sahiptirler.
5. Yüksek sıcaklıklara dayanıksızdırlar (Keleş, 2003).

2.3.6. Yağ Asitleri

Yağ asitleri trigliserit denilen yağlardan elde edildikleri için bu adı taşırlar. Genel kimyasal formülü; $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COOH}$ şeklindedir. Yağ asitleri hidrolizle ayrıştırıldığında yağ asidi karışımı ve seyreltik gliserin oluşur. Daha sonra ele geçen yağ asitleri ayrıştırılır, rafine edilir ve istenilen saflık derecesine saflaştırılır. Yağ asitleri ticari olarak elde edilebilirler. Yağ asitlerinin üretimleri için gereken ham maddelerin doğal olması (bitkisel ve hayvansal kaynaklı) önemli bir avantajdır. Bu durum, dünyanın giderek azalan mineral ve fosil yakıt rezervlerinden bağımsız olarak sürekli bir kaynak sağlar.

Trigliseridler çoğunlukla hayvansal yağlarda ve sebzelerde yenilemez yağ formunda bulunurlar. Tablo 2.6.'da, başlıca yağ asidi kaynakları ve içerdikleri yağ asidi miktarları (yüzde olarak) verilmiştir (Feldman ve ark., 1989).

Tablo 2.6. Başlıca yağ asidi kaynakları ve içerdikleri yağ asidi miktarları.

Doymuş yağ asitleri	Hindistan Cevizi(%)	Hurma Yağı(%)	Buğday yağı(%)	Domuz eti yağı(%)	Sığır eti Yağı(%)
Kaprik	4–9	–	–	–	–
Laurik	43–50	–	–	–	–
Miristik	15–21	0–2	–	0–2	2–6
Palmitik	7–11	38–48	7–19	20–28	20–35
Stearik	2–4	3–6	2–4	15–25	15–25

Ayrıca, yağ asidi esaslı FDM'ler başlıca dört kategoride üretilebilir:

1. Doğal olarak meydana gelen trigliseritler;
2. Trigliseritlerin asitlerinin hidratları ve onların karışımları;
3. Doğal olarak meydana gelen trigliseritlerin yağ asidi esterleri;
4. Artırılmış/sentezlenmiş trigliserit ürünlerin ayrılma ve transesterleşme işlemleri.

Enerji depolama amacıyla en sık kullanılan yağ asitlerinin erime sıcaklıkları 30-70°C ve erime gizli ısıları ise, 150–210 J.g⁻¹ aralığındadır. Bazı yağ asitlerinin üretici firmalar tarafından belirlenmiş erime sıcaklıkları ve erime ısıları Tablo 2.7.'de verilmiştir (Feldman ve ark., 1989).

Tablo 2.7. Laboratuar saflıktaki bazı yağ asitlerinin özellikleri.

Yağ asidi	Kimyasal formül	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Erime sıcaklığı (°C)	Donma sıcaklığı (°C)	Erime ısısı (J/g)
Kaprik	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	172,27	31,6	31,2	163
Laurik	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	200,32	44,2	43,8	183
Palmitik	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	256,43	62,9	62,4	212
Stearik	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	284,49	69,6	69,4	222

Yağ asitleri, enerji depolama için gerekli tüm termodinamik, kinetik, kimyasal ve ısı kriterlere sahiptirler ve tuz hidratlar için belirtilen problemlerin hiç birini taşımazlar. Ayrıca erime ısıları parafinlerle karşılaştırılabilecek kadar yüksektir ve birçok parafin ve tuz hidrata göre daha uygun erime sıcaklığına sahiptir. Faz değişimi esnasında küçük hacim değişimi gösterirler ve aşırı soğuma davranışı göstermeyen, iyi bir kimyasal kararlılığa ve oda sıcaklığında düşük buhar basıncına sahip bu maddeler toksik ve aşındırıcı değildirler (Feldman ve ark., 1989; Cedeno ve ark., 2001; Sarı ve Kaygusuz, 2001a,b).

Baran ve Sarı (2003), Sarı (2003), Sarı ve Kaygusuz (2001a,b; 2002); yağ asitlerinin ısı enerji depolaması üzerine yaptıkları çalışmalarda hem yağ asitlerinin ısı-fiziksel özellikleri hem de silindirik kapsüller içinde depolanan yağ asitlerinin tekrarlanan ısı dönüşüm sayısı artışının faz değişim sıcaklığı üzerindeki etkisini incelediler. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; FDM'lerin ısı dönüşüm sayısının artmasıyla erime gizli ısıları ve erime sıcaklıklarının azaldığını belirlediler.

2.3.6.1. Yağ Asidi Ötektik Karışımları

İklim şartları bakımından bir ısı enerji depolama (IED) sisteminde istenilen erime sıcaklığına sahip FDM'yi bulmak zordur. Bu yüzden, erime sıcaklığını istenilen bir sıcaklığa ayarlayacak bir metot kullanmak gerekir. Bu metot, molekül ağırlığı küçük olan bir FDM'nin molekül ağırlığı yüksek olan FDM'ye istenilen mol ya da kütle oranında katılması şeklinde tanımlanabilir. Karışım oranının seçimi önemli değildir. Ancak, ötektik bileşim oranının önceden belirlenip bu oranlarda ek karışımlar hazırlanmalıdır. Hazırlanan her bir karışımın erime ısıları ve erime sıcaklıkları diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz tekniğiyle belirlenir. Daha sonra, sıcaklık-bileşim oranı diyagramı oluşturularak karışımın ötektik bileşim oranı ve ötektik erime noktası belirlenir.

Yağ asitleri ötektik karışımları kullanılarak iklim şartlarına uygun erime sıcaklığına sahip FDM'ler hazırlanabilir. Yağ asitleri diğer FDM'lere kıyasla, üstün bazı ısı, fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip oldukları için daha iyidir ve bu asitlerden oluşturulacak ötektik FDM karışımlarının da benzer özellik göstermesi beklenebilir. Bu sebeple, yağ asidi ötektik karışımları, literatürde en fazla yer alan organik ötektiklerdir. Zhang ve ark., (2001); laurik, palmitik, stearik asit ve bunların ikili sistemlerinin katı-sıvı faz değişimini DSC ve IR metotları ile incelediler. İkili sistemler için katı-sıvı faz geçiş sıcaklığının $32,84 \pm 0,71$ °C ve erime ısılarının $146,5 - 195,1$ J.g⁻¹ aralığında olduğunu belirlediler. Ayrıca, laurik asit (%77 LA) - palmitik asit (%23 PA) ötektik karışımının 100 kez ısı dönüşüme (erime-katılaşma) maruz kalması sonucunda erime sıcaklığında ve erime gizli ısında çok az bir değişimin olduğu gözlenmiştir. Bu sonuca bağlı olarak, LA-PA ötektik karışımının iyi bir ısı kararlılığına sahip olduğu ifade edilmiştir.

Dimaano ve Escato (1998); kaprik asit (%65 mol KA) ve laurik asit (%35 mol LA) karışımını, düşük sıcaklık (soğutma amaçlı) IED uygulamaları için uygun bir FDM olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, bu asitlerin farklı bileşimlerdeki karışımlarının ısı özelliklerini DSC analizi ile belirleyerek, mevcut literatür bilgileriyle karşılaştırmışlardır. Bununla birlikte, KA-LA ötektik karışımını 120 kez tekrarlanan ısıl dönüşüm işlemine maruz bırakarak, karışımın fiziksel olarak kararlı davrandığını gözlemişlerdir.

Kauranen ve ark., (1991); belirli iklim şartlarına göre güneş enerjisinin ısıtma ve soğutma amaçlı depolanması için uygun erime noktasına sahip yağ asidi ikili ötektik karışımları hazırlamışlar ve karışımların ısı özelliklerini DSC metoduyla ölçmüşlerdir. DSC analizleri ile elde ettikleri ısıl özellikler Tablo 2.8.'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Bazı yağ asidi ikili ötektik karışımları ve DSC ile ölçülen ısıl özellikleri.

Yağ asit karışımı	Bileşim oranı (% wt)	Erime sıcaklığı (°C)	Erime ısısı (J/g)
Kaprik asit – laurik asit	61,5 - 38,5	19,1	132,0
Kaprik asit – miristik asit	73,5 - 26,5	21,4	152,0
Kaprik asit – palmitik asit	75,2 - 24,8	22,1	152,0
Kaprik asit – stearik asit	86,6 - 13,4	26,8	160,0
Laurik asit – miristik asit	62,6 - 37,4	32,6	156,0
Laurik asit – palmitik asit	64,0 - 36,0	32,8	165,0
Laurik asit – stearik asit	75,5 - 24,5	37,3	171,0
Miristik asit–palmitik asit	51,0 - 49,0	39,8	174,0
Miristik asit – stearik asit	65,7 – 34,3	44,2	181,0
Palmitik asit – stearik asit	64,9 – 35,1	50,4	179,0

Feldman ve ark., (1989); KA - LA, LA - PA, LA - SA, ve PA - SA asit ikili ötektik karışımlarını hazırlamışlar ve ısıl özelliklerini DSC analiz tekniği (ısıtma hızı: 2°C/dakika) ile belirlemişlerdir.

Dimaano ve Watanabe (2002); %65 - %35 (mol) bileşimine sahip KA/LA ötektik karışımının ısı performansını incelemiş ve yüzey soğutma amaçlı enerji depolama uygulamaları için büyük bir potansiyele sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Sarı ve ark., (2004); LA/SA, MA/PA ve PA/SA ikili karışımlarının ısı-fiziksel özelliklerini DSC ısı analiz metoduyla incelemiş ve 75,5/24,5 (%w/w) bileşimli LA-SA ötektik karışımının 37,0°C’de, 58.0/42.0 (%w/w) bileşimli MA-PA ötektik karışımının 42,60°C’de ve 64,2/35,8 (%w/w) bileşimli PA-SA ötektik karışımının 52,30°C’de eridiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, silindirik bir enerji depolama ünitesi içerisinde depolanan bu karışımların IED karakteristiklerini incelemişler ve iklim şartlarına göre yüzey ısıtma ve sera ısıtma uygulamaları için uygun birer enerji depolama maddesi olarak kullanılabileceklerini rapor etmişlerdir.

2.3.6.2. Yağ Asidi /İnorganik Tuz Karışımları

Tayeb (1995); Stearik asit (SA)/Na₂SO₄.10H₂O (Glauber tuzu) karışımının ısı özelliklerini ve IED performansını incelemiş ve en yüksek IED veriminin elde edildiği karışım oranını; % 40 SA/% 60 Na₂SO₄.10H₂O olarak belirlemiş. Ayrıca koyulaştırıcı (kil) ve çekirdekleştirici madde (boraks) ilave edilerek karışımın tabakalaşma ve aşırı soğuma problemi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Domanski ve ark., (1995); SA/Mg(NO₃)₂.6H₂O karışımının FDM olarak kullanıldığı bir güneş fırını oluşturarak güneş ışınlarının olmadığı saatler boyunca pişirme olanaklarını araştırmışlar ve katılaşma esnasında, Mg(NO₃)₂.6H₂O’nın sıcaklığı 82,3 °C’ye ve stearik asit’in sıcaklığı 60,2 °C’ye ulaştığını, ayrıca elde edilen bulgulara dayanarak stearik asidin tek başına FDM olarak pişirme amaçlı kullanılmasının uygun olmadığını rapor etmişlerdir.

2.4. FDM'lerin Isıl Kararlılıkları ve Korozyon Etkileri

Enerji depolama sistemlerinde FDM olarak kullanılacak maddelerin çok sayıda erime-katılaşma dönüşümüne maruz kalması sonucu ısı-fiziksel özelliklerindeki değişimin ve depolandıkları kap üzerindeki korozyon etkilerinin önceden belirlenmesi, IED sistemlerinin performansı ve ömürleri bakımından büyük öneme sahiptir.

Bu amaçla bazı yağ asitleri ve ikili ötektik karışımları ısıl güvenilirlik ve depolama kabı üzerinde korozyon etkisi bakımından incelenmiştir.

Sarı ve Kaygusuz (2003); LA, MA, PA ve SA'in tekrarlanan erime/katılaşma dönüşümlerinden sonra ısıl kararlılıklarını ve uzun süreli uygulamalar için korozyon bakımından farklı depoma kapları ile uygunluklarını incelemiştir. Korozyon direnç testleri için depolama kabı malzemesi olarak, çelik (SS 304 L), paslanmaz karbon çelik (S C20), alüminyum (Al) ve bakır (Cu) kullanılmıştır. Isıl kararlılık ve korozyon etkilerine ilişkin yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 2.9. ve Tablo 2.10.'da verilmiştir.

Tablo 2.9. Tekrarlanan ısıl dönüşüm sonrasında bazı yağ asitlerinin erime sıcaklıkları ve erime gizli ısılarındaki (ısıl kararlılıklarındaki) değişimler (Sarı ve Kaygusuz, 2003).

Dönüşüm test sayısı	Stearik asit		Palmitik asit		Miristik asit		Laurik asit	
	$T_e(^{\circ}\text{C})$	ΔH_{erime} (kJ/kg)	$T_e(^{\circ}\text{C})$	ΔH_{erime} (kJ/kg)	$T_e(^{\circ}\text{C})$	ΔH_{erime} (kJ/kg)	$T_e(^{\circ}\text{C})$	ΔH_{erime} (kJ/kg)
0	54,70	159,3	61,31	197,9	52,99	181,0	42,64	176,6
120	54,62	164,6	61,22	188,4	52,65	179,4	42,57	169,7
560	49,66	131,7	58,79	175,4	50,78	178,6	42,38	127,6
850	48,02	163,4	56,60	169,5	46,86	144,5	41,90	153,4
1200	46,63	157,7	55,47	172,4	46,21	159,1	41,26	156,6

Tablo 2.10. Tekrarlanan ısı dönüşümü sonrasında belirlenen korozyon hızı ve depolama kap malzemesinin yağ asidine karşı korozyon direnci (Sarı ve Kaygusuz, 2003).

Depolama kap malzemesi	Korozyon hızı / Depolama kap malzemesinin yağ asidine karşı korozyon direnci			
	Stearik Asit	Palmitik Asit	Miristik Asit	Laurik Asit
SS 304 L	$4.7 \cdot 10^{-4}$ / Dirençli	$3.7 \cdot 10^{-4}$ / Dirençli	$2.8 \cdot 10^{-4}$ / Dirençli	$3.2 \cdot 10^{-4}$ / Dirençli
S C20	$1.0 \cdot 10^{-2}$ / Dirençli	$3.1 \cdot 10^{-2}$ / Düşük korozyon	$4.9 \cdot 10^{-2}$ / Düşük korozyon	$1.5 \cdot 10^{-2}$ / Dirençli
Al	$7.1 \cdot 10^{-4}$ / Dirençli	$10. \cdot 10^{-4}$ / Dirençli	$13.6 \cdot 10^{-4}$ / Dirençli	$7.1 \cdot 10^{-4}$ / Dirençli
Cu	$3.4 \cdot 10^{-2}$ / Düşük korozyon	$1.0 \cdot 10^{-3}$ / Düşük korozyon	$1.6 \cdot 10^{-2}$ / Düşük korozyon	$1.7 \cdot 10^{-2}$ / Düşük korozyon

Sarı ve Kaygusuz (2003); erime/katılaşma dönüşümü sayısının artışı ile söz konusu yağ asitlerinin erime sıcaklıkları ve erime gizli ısılarında belirli miktarda bir azalmanın meydana geldiğini ancak yinede bu maddelerin uzun vadeli (yaklaşık 4 yıllık) IED uygulamaları için güvenilir olduklarını belirlemişlerdir. Diğer taraftan; yağ asitlerinin paslanmaz çelik ve alüminyumdan yapılmış malzemeler üzerindeki korozyon etkilerinin oldukça düşük olduğunu ve bu malzemelerin yağ asitlerinin depolanmasında rahatlıkla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Sarı (2005); LA/MA, LA/PA, MA/SA ikili ötektik karışımlarının, tekrarlanan erime-katılaşma dönüşümlerinden sonra ısıl güvenilirliklerini DSC metoduyla incelemiştir.

Bu çalışmada ötektik karışımların 1460 kez tekrarlanan ısıl dönüşüm (erime-katılaşma) sonrasında erime sıcaklıkları ve erime gizli ısılarındaki değişim, LA-MA için (-0,31)-(0,14)[°]C ve %0,9-%2,4, LA-PA için (-0,4)-(0,23)[°]C ve %1,5-%3,0, MA-SA için (1,11)-(0,26) [°]C ve %-1,1-%2,2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, incelenen FDM'lerin erime sıcaklıkları ve erime gizli ısılarındaki değişimler bakımından 4 yıllık bir enerji depolama periyodu (yaklaşık olarak 1460 kez ısıl dönüşüme karşılık) için oldukça iyi ısıl özelliklere ve ısıl güvenilirliğe sahip oldukları sonucuna varılmıştır.

Sarı ve ark., (2004a); tarafından gizli ısı depolama maddesi olarak LA/SA, MA/PA ve PA/SA karışımlarının 360 kez tekrarlanan erime-katılaşma işleminden sonra ısıl karalılıkları incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 2.11.'de verilmiştir.

Tablo 2.11. Test edilen ötektik karışımların tekrarlanan ısıl dönüşümler sonrasında ölçülen erime sıcaklıkları ([°]C) ve erime gizli ısıları (J/g) (Sarı ve ark., 2004).

Dönüşüm sayısı	Ötektik FDM erime sıcaklıkları ([°] C)			Ötektik FDM erime gizli ısıları (J/g)		
	LA-SA	MA-PA	PA-SA	LA-SA	MA-PA	PA-SA
0	37.00	42.60	52.30	182.7	169.7	181.7
90	36.56	42.04	53.43	171.4	157.4	185.7
180	36.12	42.70	51.88	149.8	163.8	175.5
360	37.36	42.40	53.58	183.1	174.6	186.3

Isıl dönüşüm sayısının artmasıyla bu maddelerin erime sıcaklıkları ve erime gizli ısılarındaki değişimlerin IED uygulamaları için kabul edilebilir bir düzeyde olduğu ve incelenen ötektik karışımların yaklaşık bir yıllık enerji depolama periyodu için oldukça iyi ısıl güvenilirliğe sahip oldukları sonucuna varmıştır.

2.5. Polimer-FDM Kompozit Karışımları

Son yıllarda bu sistemler için yapılan çalışmalar, depolama kabına gerek duymayan ve bir destek maddesi ile bir FDM içeren karışımlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu tip kompozit FDM karışımlarının dört önemli avantajı vardır.

1. Karışımın sıcaklığı FDM'nin erime sıcaklığının üzerinde olsa dahi bu tip FDM'ler katı halde şekillerini koruyabilirler. Bundan dolayı, "şekilce kararlı FDM'ler" olarak adlandırılırlar.
2. Depolama için bir dış kaba gerek duymazlar. Böylece, bu tip şekilce kararlı FDM'ler herhangi bir depolama kabının kullanılmasından kaynaklanan ısı direnci problemini de kendiliğinden çözmüş olurlar.
3. Gizli ısı enerji depolama sistemlerinde bu tip şekilce kararlı FDM'ler ısı transfer akışkanı ile doğrudan temas halinde oldukları için enerji depolama sisteminin maliyetini düşürürler.
4. İstenilen boyutlarda kolaylıkla hazırlanabilirler (Mazman, 2000).

Literatürde bu konuda yapılan bazı çalışmalara rastlamak mümkündür. Lee ve Choi (1998); ısı enerji depolama maddesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)/parafin karışımlarının akma davranışını inceleyerek dayanıklılığını araştırdılar. Karışımlarda, tekrarlanan ısıtma-soğutma dönüşümleri süresince parafinin akmasını önlemek amacıyla destek madde olarak HDPE kullandılar. Karışımların hazırlanmasında bir tanesi düşük molekül ağırlıklı diğeri yüksek molekül ağırlıklı olmak üzere iki tür HDPE kullanıldı. Optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve ışık saçılma incelemeleriyle HDPE/parafin karışımının yüzey alanının yaklaşık 7 μm çapında sıkı kürelerden oluştuğu belirlendi. Diğer taraftan düşük yoğunluklu polietilen LDPE/parafin karışımında yaklaşık 15 μm çapındaki kürelerin bulunduğu gözlemlendi. Sonuç olarak HDPE/parafin karışımının üstün sızdırmaz özelliğinin farklı molekül ağırlıklarındaki HDPE'den kaynaklandığı sonucuna vardılar.

Sarı (2004b); yaptığı çalışmada, ısı enerji depolama için katı-sıvı FDM olarak parafin-HDPE kompozit karışımlarını hazırlamış ve ısı özelliklerini belirlemiştir. Çalışmada, erime sıcaklıkları 42–44 $^{\circ}\text{C}$ ve erime gizli ısı 192,8 J/g olan ve erime sıcaklıkları 56–58 $^{\circ}\text{C}$ ve erime gizli ısı 212,4 J/g olan iki tip parafin kullanmıştır.

Elde edilen kompozitler içerisinde erimiş halde hiçbir parafin sızıntısı olmaksızın maksimum kütlece % 77 oranında HDPE ile karışabileceği belirlenmiştir. SEM tekniği kullanılarak her iki kompozit FDM'nin yapısı incelendi ve parafinin HDPE içerisinde dağılmış halde bulunduğunu gözlemlendi. DSC ısı analiz tekniğini kullanarak kompozit FDM'lerin erime sıcaklıklarını sırasıyla, 37,8 ve 55,7 °C, erime gizli ısılarını; 147,6 ve 162,2 J/g olarak belirledi. Ayrıca hazırlanan bu FDM'leri ısı işleme maruz bırakmış ve grafit ekleyerek ısıl iletkenliklerini iyileştirmiştir. Sonuç olarak tatmin edici ısıl-fiziksel özelliklerinden dolayı kararlı şekildeki kompozit FDM'lerin potansiyel bir ısıl enerji depolama maddeleri olduğu sonucuna varmıştır.

Inaba ve Tu (1997); yaptıkları çalışmada yeni tip gizli ısı depolama maddesi olarak şekilce-kararlı HDPE/parafin kompozit karışımının ısıl özelliklerini ve bu özelliklerin ölçüm metotlarını incelediler. Kompozit karışımın ısıl iletkenliğini, gizli ısısını, spesifik ısısını ve yoğunluğunu ölçmek için sırasıyla sıcak tel metodu (hot-wire), DSC metodu, su kalorimetresi ve hacim genişlemesi ölçer kullanarak ölçtüler ve söz konusu ısıl-fiziksel özellikler ile sıcaklık arasında bir ilişki olduğunu ortaya çıkardılar. Sonuç olarak ısıl-fiziksel özelliklerin sıcaklığa bağlılığının katı hal, sıvı hal ve katı-sıvı geçiş halinin her biri için farklı olduğu sonucuna vardılar.

2.6 FDM'lerin Kapsule Edilmesi

Bazı FDM'ler yanıcı, toksik, koroziv, havanın bileşenleri ile tepkime verebilen veya havadaki suyu adsorplayıp kristal su sayısını artırabilen cinsde olabilir. Bu olumsuz etkilerini yok edip kullanım alanlarını genişletmek için kapsüllenmeleri gerekir. FDM'lerin kapsüllenmesinde metal ve polimer maddeler kullanılabilir.

Metal: Metaller kullanılarak kapsüllemenin maliyeti yüksektir. Bazı FDM'ler koroziftir ve metal kaplara zarar verdikleri için çekirdek maddeden zarar görmeyen metaller kullanılmalıdır.

Polimer: Son zamanlarda daha çok tercih edilen polimer yapılarda kapsüllemedir. FDM'ler polimer ile tepkime verebilir buna dikkat etmek gerekir. İki şekilde kapsülleme yapılır. Bunlar; makrokapsülleme ve mikrokapsüllemedir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Maddeler

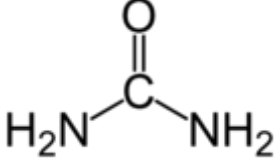
Miristik asit (Merck), Laurik asit (Merck), Palmitik asit (Merck), Üre (Merck), Tiyoüre (Merck), Karbon tetraklorür (Merck), Deiyonize su, Dimetil formamid, Potasyum Bromür, Tiyonil klorür, Deuterium DMSO.

3.1.1. Üre

Üre, organik bir bileşiktir ve formülü $H_2N-CO-NH_2$ 'dir. Karbonik asidin diamidi olan üre aynı zamanda karbamik asidin de amidi olduğundan karbamid adı ile de bilinir. Amonyum karbonatın 150–200 °C' ye kadar ısıtılmasından üre elde edilir ve ya Wöhler sentezi olarak bilinen reaksiyonda ise; önce KCN ile PbO_2 karışımı ısıtılarak KCNO elde edilir. KCNO' nun amonyum sülfat ile muamelesi sonucu hazırlanan amonyum siyanatın kızdırılmasıyla da üre elde edilir. Üre 132°C'de eriyen prizmalar ve ya iğne şeklinde renksiz kristaller verir. Su ve alkolde iyi çözünür. Kloroform, eter ve ya etil asetatta çözünmez. 132 °C' nin üstünde amonyak, siyanür asidi vb. gibi ürünler vererek bozunur. Nitrik asit, sodyum hipoklorit veya sodyum hipobromit gibi bileşiklerin etkisiyle azot, su ve karbondioksit'e ayrışır. Seyreltik asit veya alkalilerle ısıtıldığında amonyak ve karbondioksit'e bozunur.

En çok gübre ve hayvan yemi olarak kullanılan üreden ilaç ve plastik yapımında da faydalanılır. Naftalinin türevleriyle verdiği bileşikler tedaviye kullanılır. Boya üretiminde de kullanılan üre aynı zamanda bitkiler için bir besin kaynağıdır. Tablo 3.1.'de üre molekülüne ait özellikler verilmektedir.

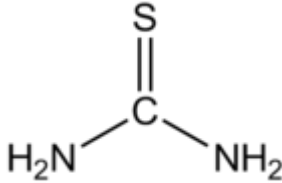
Tablo 3.1. Üre molekülüne ait fiziksel ve kimyasal özellikler.

Özellikler	Üre	
Molekül Formülü	$\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2$	
Molar Kütle	60 g/mol	
Yoğunluk	1335 kg/m ³	
Erime Noktası	132°C	
Kaynama Noktası	135°C	

3.1.2. Tiyoüre

Ürenin oksijen atomu yerine kükürt atomunun geçmesiyle oluşmuş üreye benzeyen organik bir bileşiktir. Sülfokarbamit, sülfüre veya tiyokarbamit olarak da bilinir. Kimyasal formülü $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ dir. 172 °C'de eriyen bir katıdır. Suda ve alkolde çözünür. Ticari önemi pek fazla olmamakla beraber başlıca fotoğrafçılıkta, termoset reçinelerin üretiminde, böcek öldürücülerde, dokumacılıkta, bazı boya ve ilaçlarda kullanılır. Zehirli bir maddedir. Tablo 3,2.'de tiyoüre molekülünün özellikleri verilmektedir.

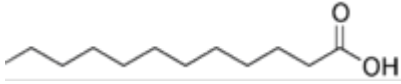
Tablo 3.2. Tiyoüre molekülüne ait fiziksel ve kimyasal özellikler.

Özellikler	Tiyoüre	
Molekül Formülü	$\text{CS}(\text{NH}_2)_2$	
Molar Kütle	76 g/mol	
Yoğunluk	---	
Erime Noktası	172 °C	
Kaynama Noktası	---	

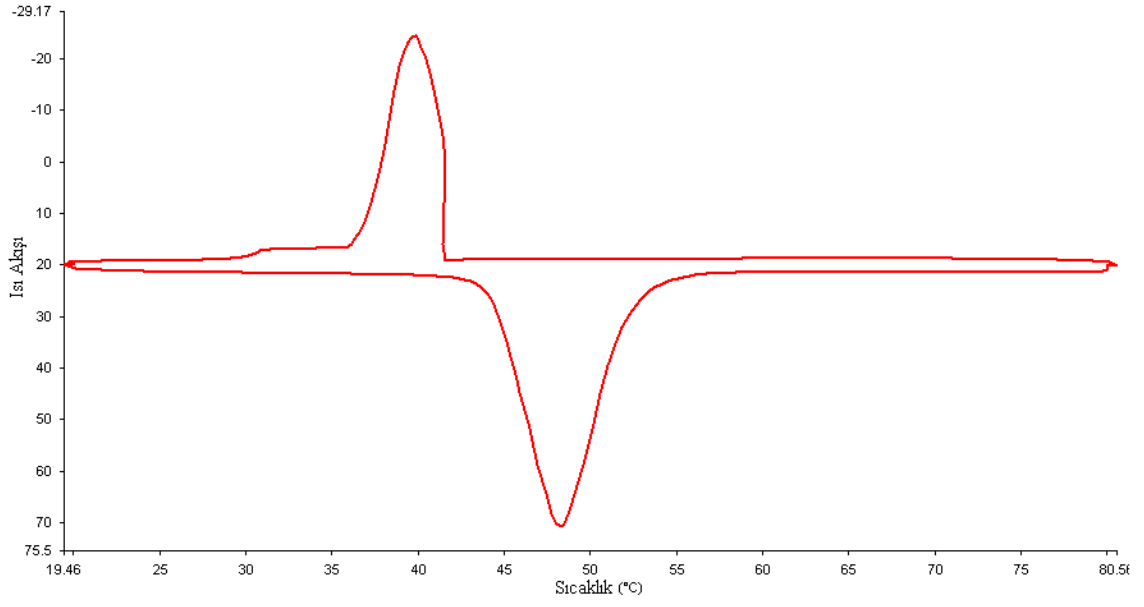
3.1.3. Laurik Asit

Sistematik olarak dodekanoik asit olarak adlandırılan, beyaz renkte, toz halinde bulunan ve yağ ya da sabun gibi kokan doymuş bir yağ asitidir. Çoğunlukla hindistan cevizi ve hurma çekirdeğinde bulunmakla birlikte anne sütünde (% 5,8), inek sütünde (% 2,2) ve keçi sütünde de az miktarlarda bulunur. Tablo 3.3.'de laurik asite ait yapı ve fizikokimyasal bilgiler bulunmaktadır. Laurik asit düşük erime sıcaklığı ve doğal olarak bulunma bolluğu nedeniyle FDM olarak kullanılmaktadır.

Tablo 3.3. Laurik asit molekülüne ait fiziksel ve kimyasal özellikler.

Özellikler	Laurik Asit	
Molekül Formülü	$C_{12}H_{24}O_2$	
Molar Kütle	200.31776 g/mol	
Yoğunluk	0.880 g/cm ³	
Erime Noktası	44 °C	
Kaynama Noktası	298.9 °C	

Şekil 3.1.'de ise laurik asitin DSC analizine ait grafik görülmektedir. DSC grafiği tekrarlanabilir. Erime ve katılaşma noktaları ve entalpileri ısıtıp-soğutma işlemleri neticesinde sürekli bir artış ya da azalma göstermemektedir. Belli bir düzeyde kendini tekrar etmektedir. Şekil 3.1.'den elde edilen veriler Tablo 3.4.'de yer almaktadır.

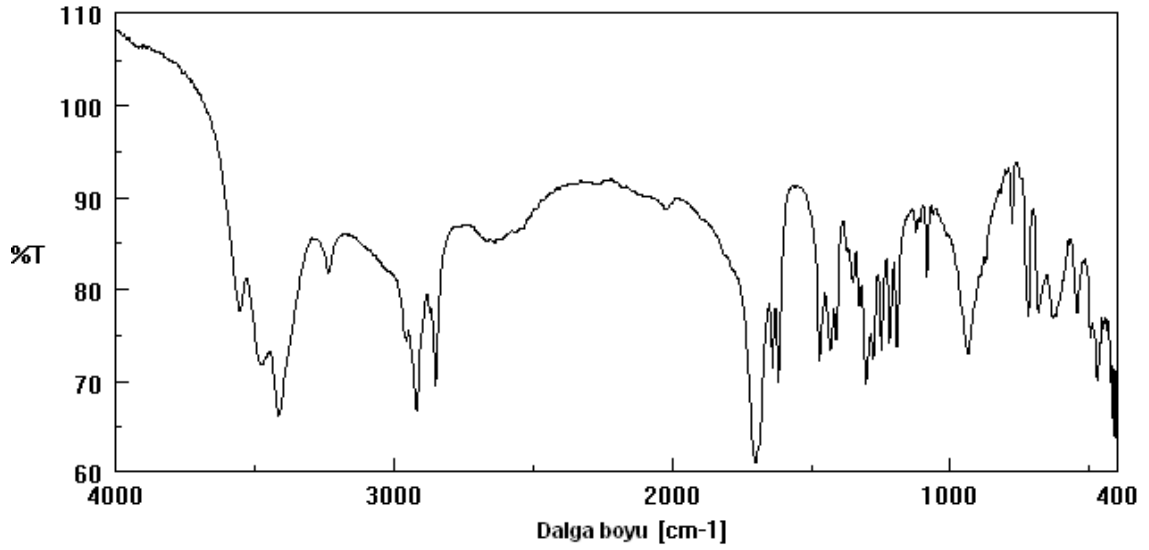


Şekil 3.1. Laurik asitin DSC analizi

Tablo 3.4. Laurik asitin ısı analiz verileri

Özellikler	Laurik Asit
Erime Sıcaklığı (°C)	48.38
Erime Entalpisi (J/g)	157.85
Katılaşma Sıcaklığı (°C)	39.84
Katılaşma Entalpisi (J/g)	-236.02

Şekil 3.2.'de ise saf laurik asite ait FT-IR spektrumu görülmektedir.



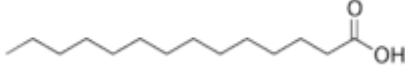
Şekil 3.2. Laurik asitin FT-IR spektrumu

Saf laurik asitin FT-IR spektrumunda, CH_2 ve CH_3 'ün $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ arasında simetrik ve asimetrik titreşim pikleri görülmektedir. 1700 cm^{-1} civarındaki pik karbonil pikidir. Laurik asitin FT-IR spektrumundaki bir diğer önemli kısım ise $3400\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ 'de görülmekte olan OH pikleridir.

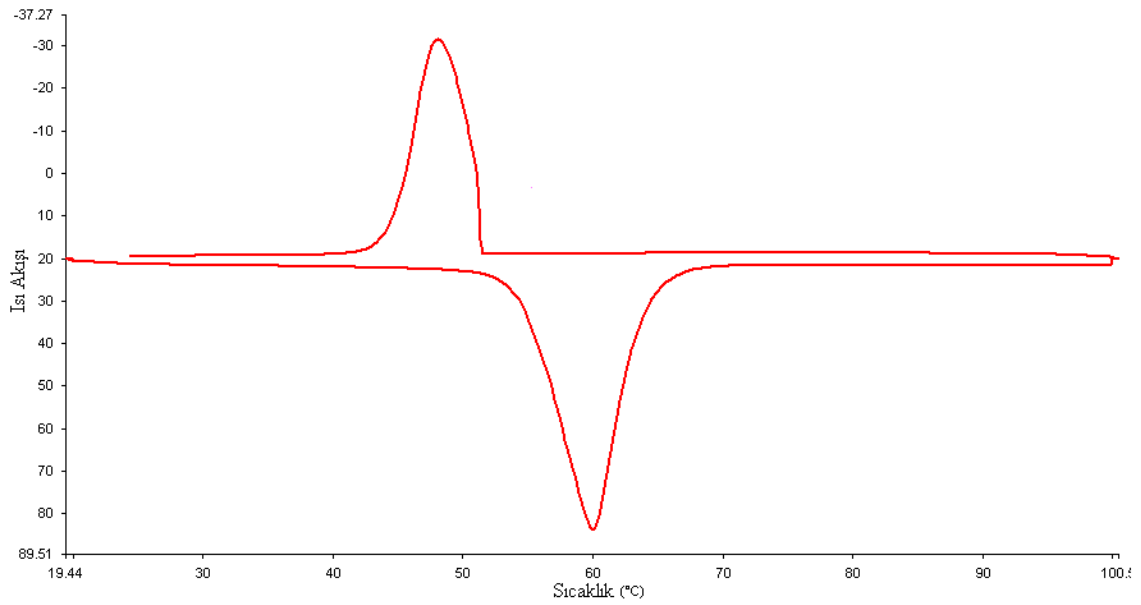
3.1.4. Miristik Asit

Miristik asit veya tetradekanoik asit, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ moleküler formüllü, süt ürünlerinde yaygın bulunan bir doymuş yağ asitidir. Miristat, miristik asitin baz halidir, isminde "miristat" bulunan bileşikler miristik asitin tuzu veya esteridirler. Tablo 3.5.'de miristik asite ait yapı ve fizikokimyasal bilgiler bulunmaktadır. Miristik asitin bu çalışmada seçilme nedeni erime noktası ve kaynama noktası yanında bulunabilme bolluğudur.

Tablo 3.5. Miristik asit molekülüne ait fiziksel ve kimyasal özellikler.

Özellikler	Miristik Asit	
Molekül Formülü	$C_{14}H_{28}O_2$	
Molar Kütle	228.37 g/mol	
Yoğunluk	0.8622 g/cm ³	
Erime Noktası	58.8 °C	
Kaynama Noktası	250.5 °C	

Şekil 3.3.'de ise miristik asitin DSC termogramı görülmektedir. Saf miristik asit tek basamakta eriyip katılaştan ve onset (başlangıç) sıcaklıkları dikkate alındığında çok fazla aşırı soğuma eğilimi göstermeyen bir maddedir.



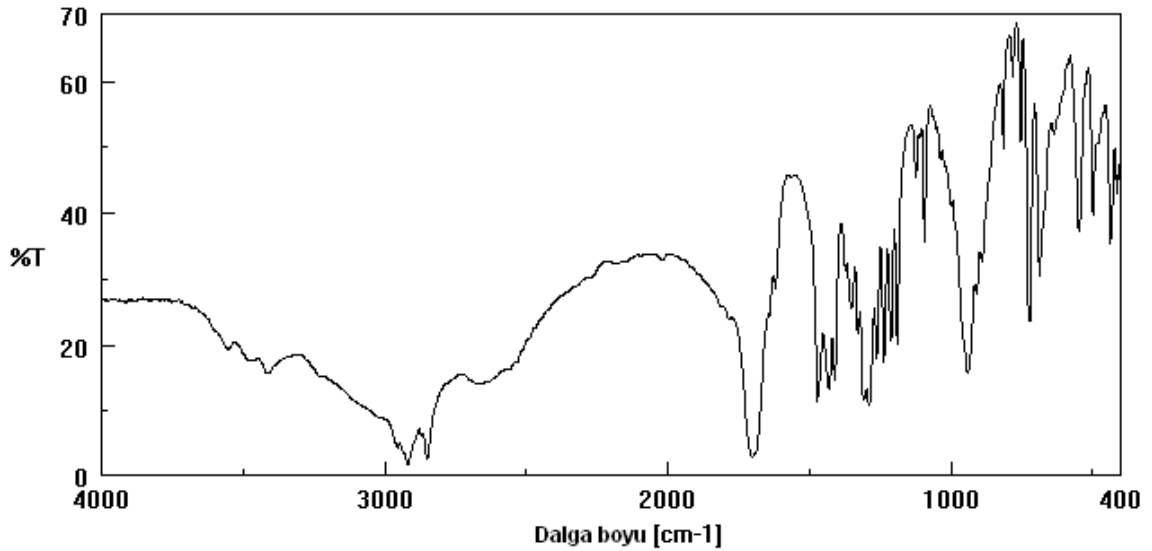
Şekil 3.3. Miristik asitin DSC analizi

Tablo 3.4. ise miristik asitin DSC'sinden elde edilen verileri özetlemektedir. Miristik asitin erime ve katılaşma sıcaklıkları tepe noktalardan alınmış olup aşırı soğuma eğilimi için referans kabul edilemez. Grafikte görüleceği üzere onset noktalar dikkate alınacak olursa aşırı soğuma eğiliminin çok zayıf olduğu görülebilir.

Tablo 3.6. Miristik asitin ısı analiz verileri.

Özellikler	Miristik Asit
Erime Sıcaklığı (°C)	60.11
Erime Entalpisi (J/g)	194.94
Katılaşma Sıcaklığı (°C)	48.07
Katılaşma Entalpisi (J/g)	-201.75

Şekil 3.4.'de ise saf miristik asite ait FT-IR spektrumu görülmektedir.



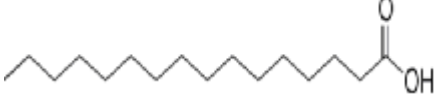
Şekil 3.4. Miristik asitin FT-IR spektrumu

Saf miristik asitin FT-IR spektrumunda, CH_2 ve CH_3 'ün $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ arasında simetrik ve asimetrik titreşim pikleri görülmektedir. 1700 cm^{-1} civarındaki pik karbonil pikidir. Miristik asitin FT-IR spektrumundaki bir diğer önemli kısım ise $3400\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ 'de görülmekte olan OH pikleridir. Miristik asitin spektrumundan daha fazla iddialar türetilir. Ancak verilen özelliklerin fazlası spekülatif olabileceğinden diğer pikler üzerine bir yorumlama yapılmayacaktır.

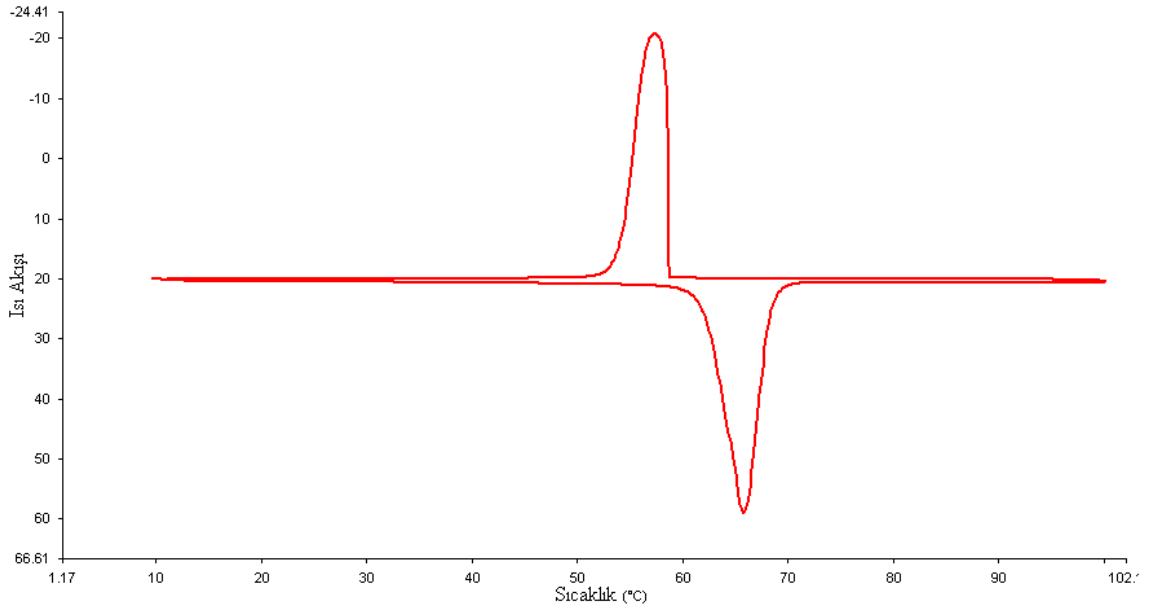
3.1.5. Palmitik Asit

Palmitik asit, IUPAC adlandırmasına göre $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ ya da hegzadekanoik olarak bilinen ayrıca bitki ve hayvanlarda bulunan ve çok yaygın olarak bilinen bir yağ asitidir. Ana bileşeni hurma ağacı yağıdır (Hurma yağı ve hurma çekirdeği yağı). Palmitat ise palmitik asitin esteri ya da tuzları için kullanılan bir terimdir. Palmitate anyonu fizyolojik pH'da palmitik asidin gözlenen çeşididir. Tablo 3.7.'de palmitik asite ait yapı ve fizikokimyasal bilgiler bulunmaktadır.

Tablo 3.7. Palmitik asit molekülüne ait fiziksel ve kimyasal özellikler.

Özellikler	Palmitik Asit	
Molekül Formülü	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	
Molar Kütle	256.42 g/mol	
Yoğunluk	0.853 g/cm^3	
Erime Noktası	63–64 °C	
Kaynama Noktası	351–352 °C	

Aşağıdaki şekilde saf palmitik asitin DSC termogramı yer almaktadır. Palmitik asitin DSC termogramında daha öncekilerde olduğu gibi $5 \text{ }^\circ\text{C/dak}$ ısıtma ve soğutma hızında azot atmosferinde alınmış olup tek basamaklı erime-katılaşma piklerini ortaya koymuştur.



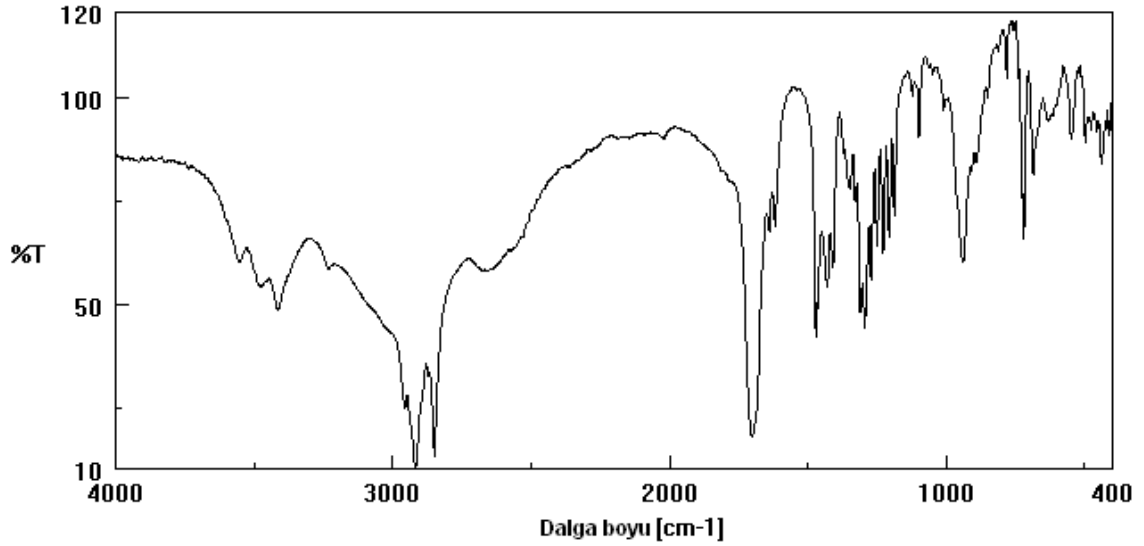
Şekil 3.5. Palmitik asitin DSC analizi

Şekil 3.5.'deki DSC termogramından elde edilen veriler tablo 3.8.'de özetlenmiştir. Erime ve katılaşma sıcaklıkları tepe noktalarından tespit edilmiştir.

Tablo 3.8. Palmitik asitin ısı analiz verileri.

Özellikler	Palmitik Asit
Erime Sıcaklığı (°C)	65.79
Erime Entalpisi (J/g)	217.33
Katılaşma Sıcaklığı (°C)	57.43
Katılaşma Entalpisi (J/g)	-207.42

Şekil 3.6.'da ise saf palmitik asite ait FT-IR spektrumu görülmektedir. Palmitik asitin FT-IR spektrumu diğer yağ asitlerinin spektrumları ile aynı sonucu üretmiştir.



Şekil 3.6. Palmitik asitin FT-IR spektrumu

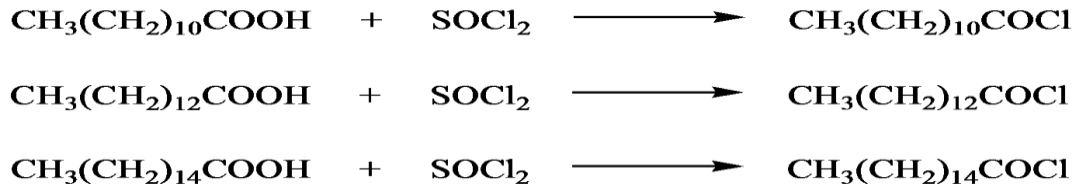
Saf palmitik asitin FT-IR spektrumunda, CH_2 ve CH_3 'ün $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ arasında simetrik ve asimetrik titreşim pikleri görülmektedir. 1700 cm^{-1} civarındaki pik karbonil pikidir. Palmitik asitin FT-IR spektrumundaki bir diğer önemli kısım ise $3400\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ 'de görülmekte olan OH pikleridir.

3.2. Metot

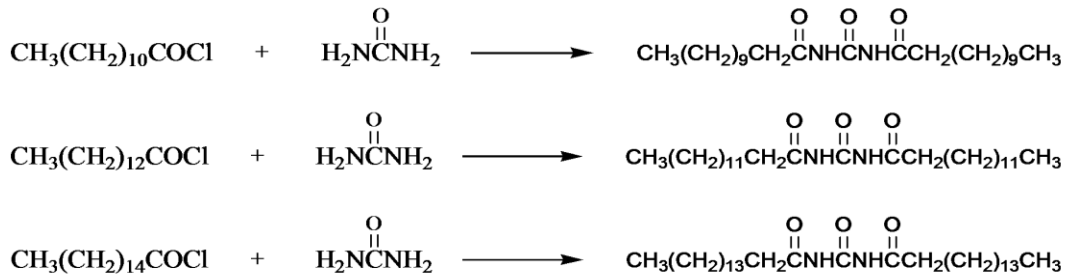
Yağ asitlerinden açıl klorür eldesi için; yağ asitleri, tiyonil klorürün aşırısı ile reflüks ortamında ve 1–2 damla DMF (dimetil formamit) katalizörlüğünde 2 saat süreyle kaynatıldı. Oluşan karışım etanolle yıkanarak evaporatörde kurutulup yağ asiti açıl klorürüne dönüştürüldü. Bu işlem yapılırken erime noktası birbirinden düşük olan yağ asitleri seçildi. Daha sonra ayrı ayrı üre-deiyonize su karışımı ile yağ asiti açıl klorür- CCl_4 karışımı hazırlandı. Hazırlanan bu karışımlar manyetik karıştırıcı üzerinde hızlı bir şekilde birleştirildi ve anında katı bir madde oluştuğu gözlemlendi.

Karıştırma işlemi sona erdikten sonra küçük gözenekli süzgeç kâğıdı ile süzme işlemi yapılarak elde edilen ürün soğuk suyla iyice ve birkaç defa yıkanıp kurumaya bırakıldı. Kuruyan üre dikarboksilat ürünü üzerinde DSC, FT-IR, ^1H NMR, Isıl Döngü ve TGA analizleri yapıldı. Üre ile yağ asitleri için yapılan bu işlem tiyoüre ile yağ asitleri için de yapılarak toplam 6 farklı dikarboksilat ürünü elde edilerek aynı analizler bu ürünlere de uygulandı.

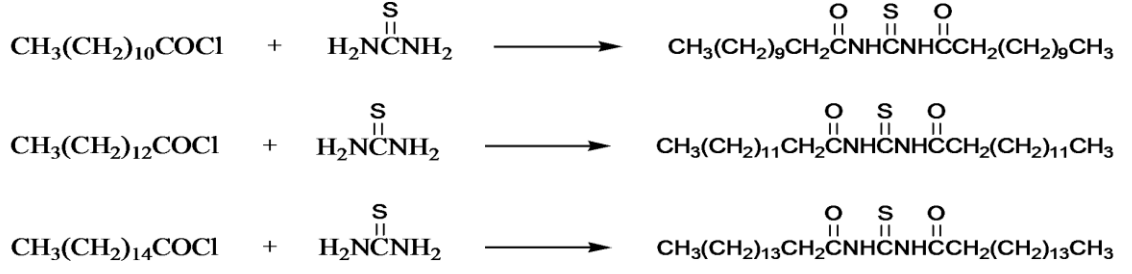
Aşağıdaki şemalardan şekil 3.7.'de yağ asidi açıl klorürü eldesi, şekil 3.8.'de üre-yağ asidi açıl klorürü kondenzasyonu ile elde edilen FDM'ler ve şekil 3.9.'da ise tiyoüre-yağ asidi açıl klorürü kondenzasyonu ile elde edilen FDM'ler verilmiştir.



Şekil 3.7. Yağ asiti açıl klorürü eldesi (laurik asit açıl klorürü, miristik asit açıl klorürü ve palmitik asit açıl klorürü)



Şekil 3.8. Üre-yağ asidi açıl klorürü kondenzasyonu ile elde edilen FDM'ler (üre dilaurat, üre dimiristat ve üre dipalmitat)



Şekil 3.9. Tiyüre– yağ asidi açıl klorürü kondenzasyonu ile elde edilen FDM’ler (tiyüre dilaurat, tiyüre dimiristat ve tiyüre dipalmitat)

3.2.1. Infrared Spektroskopisi (IR)

Komplekslerin IR spektrumları KBr diskleri hazırlanarak Jasco FT/IR 430 spektrofotometresi cihazı ile 4000–400 cm^{-1} aralığında kaydedilmiştir. Yağ asitlerinin spektrumlarına kıyasla FDM’ler için elde edilecek IR spektrumları arasında belirgin frekans kaymasına göre sentezin gerçekleşip gerçekleşmediği konusunda yorum getirildi. IR spektrumları katı KBr disk kullanılarak alındı.

3.2.2. Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) Spektroskopisi

Söz konusu FDM’lerin H-NMR spektrumları NMR (400 MHz BRUKER,2007) analiziyle belirlendi. NMR yöntemi, çekirdeklerin 4–900 MHz (75m -0,33m) aralığındaki Radyo frekansı aralığındaki elektromanyetik ışınların soğurulmasıyla dönme enerji seviyelerine uyarılmalarının ölçümüne dayanır. NMR spektroskopisi kovalent bileşiklerin yapılarının aydınlatılmasında kullanılır. NMR’ın ^1H , ^{11}B , ^{13}C , ^{15}N , ^{31}P , ^{19}F gibi çeşitleri vardır. Bruker 400 MHz Spektrometre cihazı ile ^1H NMR incelendi.

3.2.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Tekniği

FDM’lerin ısı analizi için kullanılan temel yöntem olan DSC tekniği ile, karışımların erime ve donma sıcaklığı (T_e) ve erime ve donma gizli ısı (ΔH_E) gibi fiziksel özellikleri ölçüldü.

DSC analiz metodu, önceden belirlenmiş bir programa göre numune ve referans ısıtılırken numune ve referans arasındaki enerji farkının, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak incelendiği bir ısıl yöntemdir. Bundan dolayı bu yöntem DSC olarak bilinir. DSC analiz tekniği genellikle nicel enerji değişimlerinin belirlenmesinde kullanılır. DSC analiz tekniğinin temeli numune ve referans arasında sıcaklık farkı meydana gelmesinin önlenmesidir. Bu nedenle DSC, numune sıcaklığı ve referans sıcaklığının aynı olması için numuneye veya referansa uygulanan enerjiyi ölçer. DSC analizinde kullanılan DSC cihazının teknik özellikleri ve analiz şartları Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. DSC analiz cihazının teknik özellikleri ve ısı analiz şartları.

DSC analiz cihazının teknik özellikleri	
Marka	Perkin Elmer Jade
Sıcaklık aralığı	(-180) – 600 °C
Numune kapları	Alüminyum
Diferansiyel termoçift	Cr-Al / Al
Kalorimetrik algılama	0,05 – 50 m cal/s
Kalorimetrik hassasiyet	± % 0,1 (metal numunelerde)
Isıl Analiz Şartları	
Numune miktarı	4–6 mg.
Ölçüm ortamı	Argon Atmosferi
Isıtma hızı	5 °C /dak.
Isıtma aralığı	20–80°C

Bu çalışmada, sabit ısı akışlı bir DSC cihazı kullanılmıştır. Bu tür cihazlarda analiz işlemi süresince, ısı akışı numune ve referans maddenin her ikisine ait elektrikli ısıtıcılar üzerinden sağlanır. Numune ve referans madde alüminyumdan yapılmış küçük krozelere konulup, disk üzerindeki platformların üzerine yerleştirilir. Daha sonra önceden belirlenmiş bir programa göre numune ve referans aynı ortamda ısıtılır. Isı, diskler üzerinden krozelere, oradan da numune ve referansa iletilir.

Numune ve referansa diferansiyel ısı akışı, termoçiftler ile izlenir ve numune ile referans krozeleri arasındaki diferansiyel ısı akışı, her iki termoçiftin çıkışları arasındaki fark ile doğru orantılıdır.

Yapılan analiz işlemi sonucunda elde edilen termogramda, yatay eksen numune sıcaklığını, düşey eksen ise ısı akışını gösterir. Termogram değerlendirilirken öncelikle, bir temel çizgi çizilir ve daha sonra elde edilen pikin maksimum eğilimli kısmından temel çizgiye teğet çizilir ve teğetin temel çizgiyi kestiği noktaya eşlenik gelen sıcaklık noktası numunenin faz değişim sıcaklığı olarak alınır. Ayrıca, pik altında kalan alanın integrali hesaplanarak numunenin faz değişim gizli ısı (entalpisi) bulunur. Bütün bu işlemler DSC cihazına ait ısıtma programı vasıtasıyla yapılır.

Üretilen FDM'lerin analizleri, saf yağ asitleri için 20–100 °C aralığında ve 5 °C/ dakika ısıtma hızında, karışımlar için ise yine aynı sıcaklık akış hızında ve 20–120 °C sıcaklık aralığında yapıldı. Numuneler için erime sıcaklığı, T_m , DSC pikinin maksimum eğimli kısmından çizilen teğet ile taban çizgiden çizilen doğrunun kesiştiği noktadır. Bu sıcaklığa onset noktası denir. Erime gizli ısı, ΔH_{erime} , pikin altında kalan alanın integrasyonu ile belirlenir.

3.2.4. Isıl Gravimetrik Analiz

Komplekslerin bozunma karakteristiği 'Perkin - Elmer Diamond TG/DTA' termik analiz cihazı kullanılarak 10 °C/dak ısıtma hızında nitrojen atmosferinde gerçekleştirilmiştir. TGA ölçümleri platin krozede Al_2O_3 ile kalibre edilmiş ve 50 ml/dak gaz akış hızına ayarlanmış sistemde gerçekleştirilmiştir.

3.2.5. Isıl Güvenirlik Analizi

Sentezlenen yeni tip FDM'lerin ısıl güvenirliliklerini test etmek maksadıyla örnekler BIDER-TC-25/H ısıl dönüşüm cihazında 20°C/dak ısıtma ve soğutma hızıyla 1000 kez erime noktalarının 20°C derece üzerine ısıtılıp 20°C derece altına soğutulmuşlardır. Daha sonra ısıl dönüşüme maruz bırakılan FDMler yapısal olarak FT-IR spektroskopisi, ısıl olarak ta DSC yöntemiyle test edilmişlerdir.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

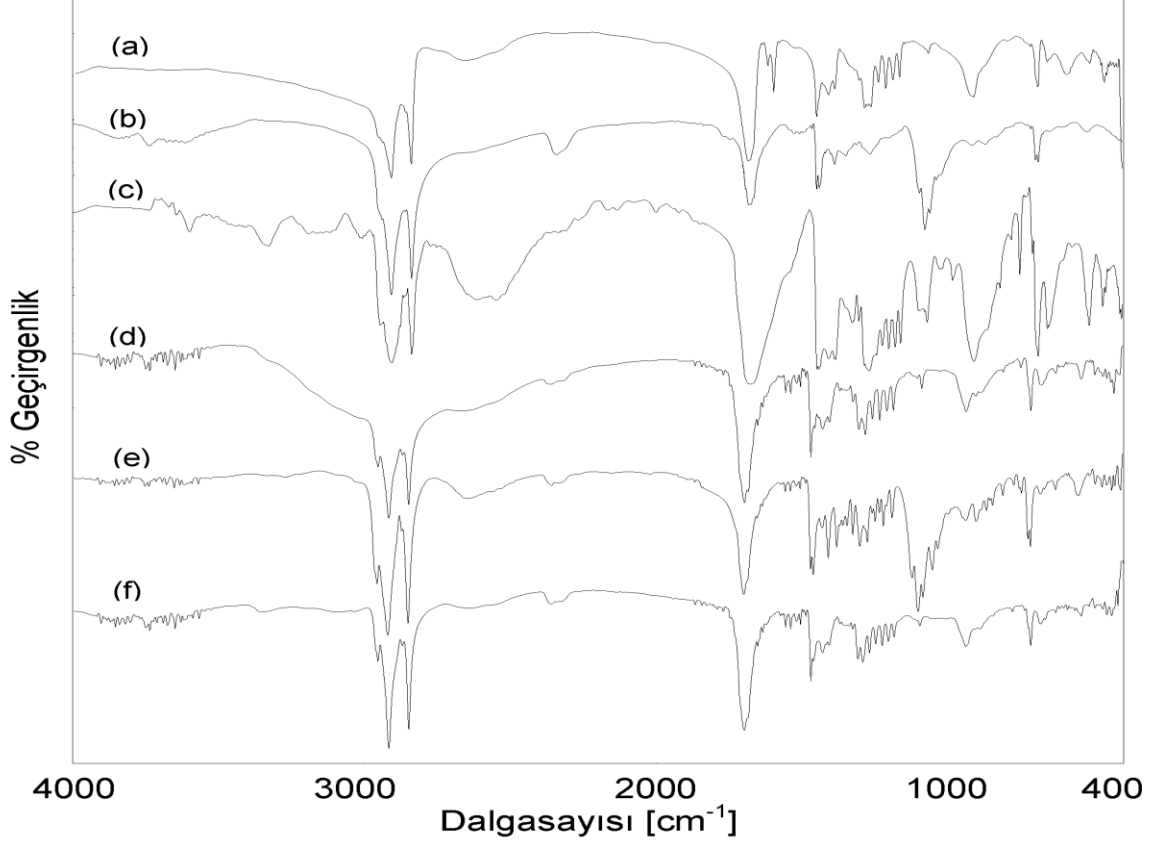
4.1. FT-IR Çalışmaları

Üre dikarboksilatların FT-IR çalışmaları yapısal karakterizasyonun yanında ısı kararlılığın belirlenmesi içinde uygulanmıştır. Şekil 4.1. ve şekil 4.2.'de üre ve tiyoüre bileşiklerinin ısı döngü öncesi ve sonrasındaki laurat, miristat ve palmitatlarının FT-IR spektrumları verilmiştir. Şekil 4.1. ve şekil 4.2.'de verilen spektrumlar, yeni tip FDM'lerin üretilmesi için kullanılmış bulunan yağ asitlerinin şekil 3.2., şekil 3.4. ve şekil 3.6.'da verilen FT-IR spektrumları ile kıyaslanmıştır.

Yağ asitlerine ait FT-IR spektrumları ile karşılaştırıldığında, görüldüğü kadarıyla yağ asiti açıl klorürü ile üre ve ya tiyoüre arasındaki yoğunlaşma reaksiyonundan sonra, NH_2 absorpsiyon piklerinin şiddetinin azalarak yerine gelen N-H piklerinin CH_2 gerilme pikleri alanının içinde kalmasından dolayı yoğunlaşma reaksiyonunun çok yüksek bir verim ile gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

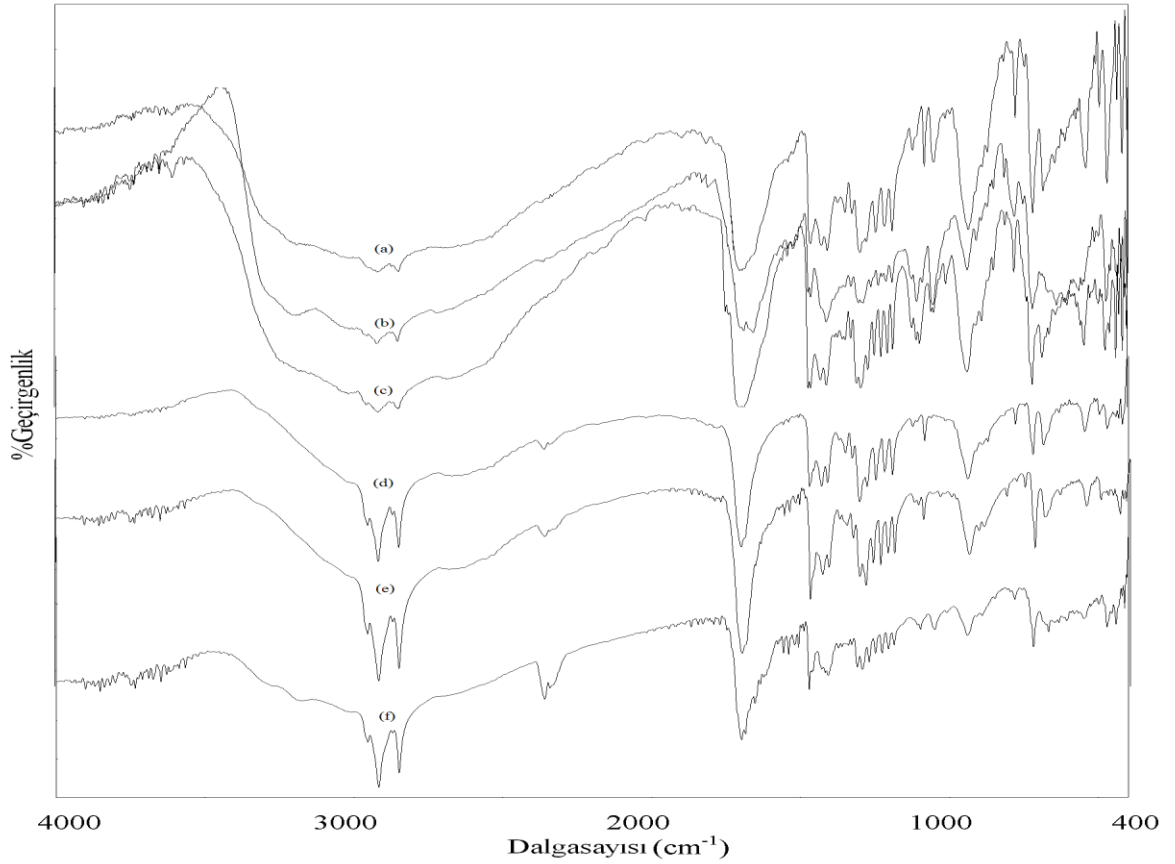
CH_2 ve CH_3 'ün $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ arasındaki simetrik ve asimetrik titreşim pikleri son ürünün karakteristik özelliklerinden biri olarak ortaya çıkmıştır.

Karbonil pikleri 1700 cm^{-1} civarında ve NH gerilme pikleri ise 1610 cm^{-1} civarında görülmektedir. Amid oluşumunun diğer belirtileri ise 1500 cm^{-1} civarındaki amid bükülme pikleridir.



Şekil 4.1. Isıl döngü öncesi ve sonrası üre dikarboksilat bileşiklerinin FT-IR spektrumları (üre dilaurat (a,d), üre dimiristat (b,e) ve üre dipalmitat (c,f))

Üretilen yeni tip FDM'lere ait FT-IR spektrumları, ısıl döngü sonrası üre dikarboksilatların standart spektrumları ile karşılaştırıldığında üretilen maddelerin ısıl uygulamalar neticesinde yapısal kararlılığını muhafaza ettiği anlaşılmaktadır.



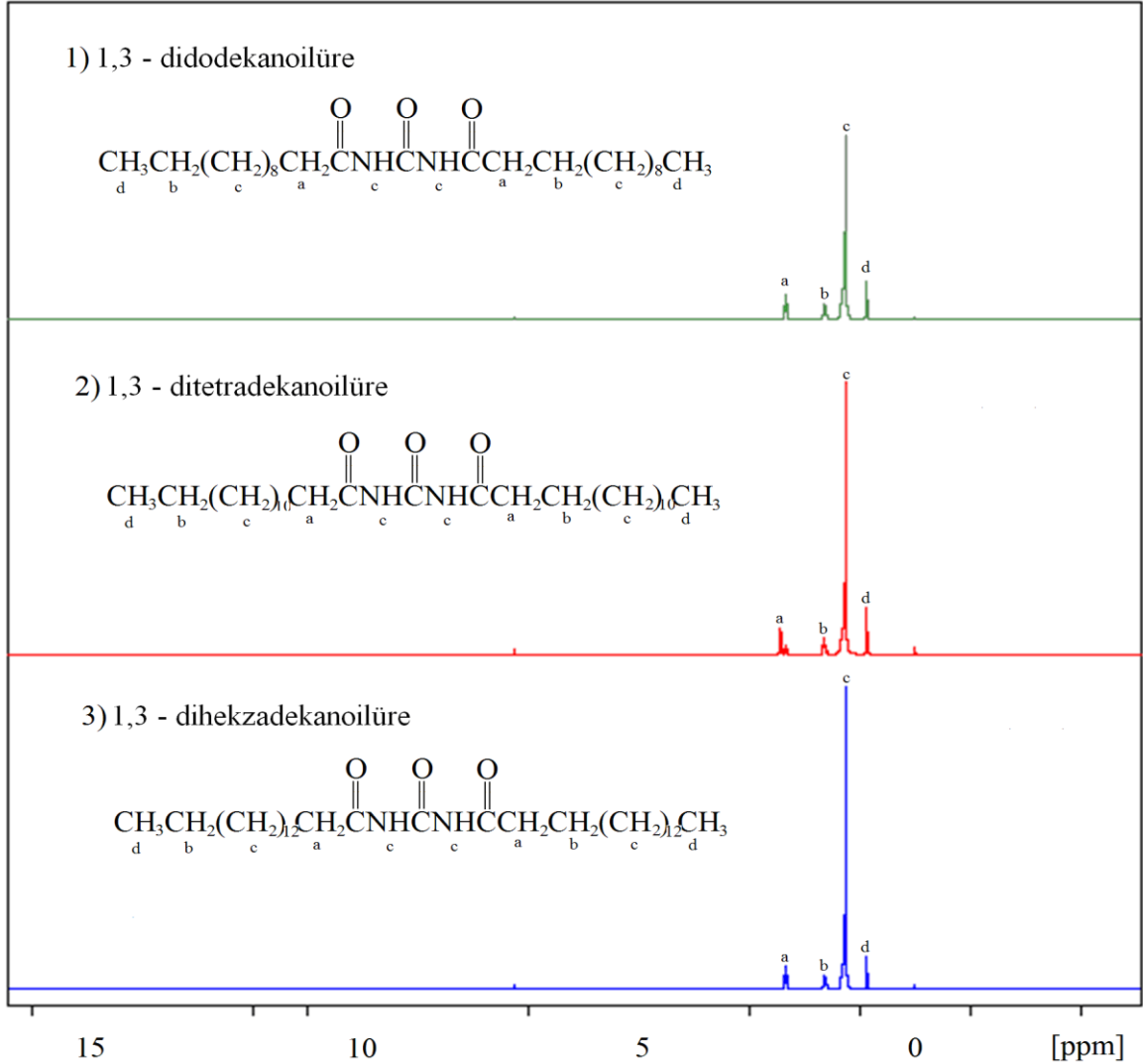
Şekil 4.2 Isıl döngü öncesi ve sonrası tiyoüre dikarboksilatların FT-IR spektrumları (tiyoüre dilaurat (a,d), tiyoüre dimiristat (b,e), ve tiyoüre dipalmitat (c,f))

Üre ve tiyoüre dikarboksilatların FT-IR spektrumlarında NH gerilme pikleri 3300cm^{-1} civarında gözlenmektedir. Karakteristik olan CH_2 ve CH_3 pikleri ise 2854, 2917 ve 2959cm^{-1} 'de simetrik ve asimetrik gerilme pikleri olarak izlenmektedir.

Karbonil pikleri ise 1700cm^{-1} civarında bulunmaktadır. Diğer taraftan N-H bükülme piki 1633cm^{-1} ve amid piki ise 1537cm^{-1} 'de gözlemlenmiştir.

4.2. ^1H NMR Çalışmaları

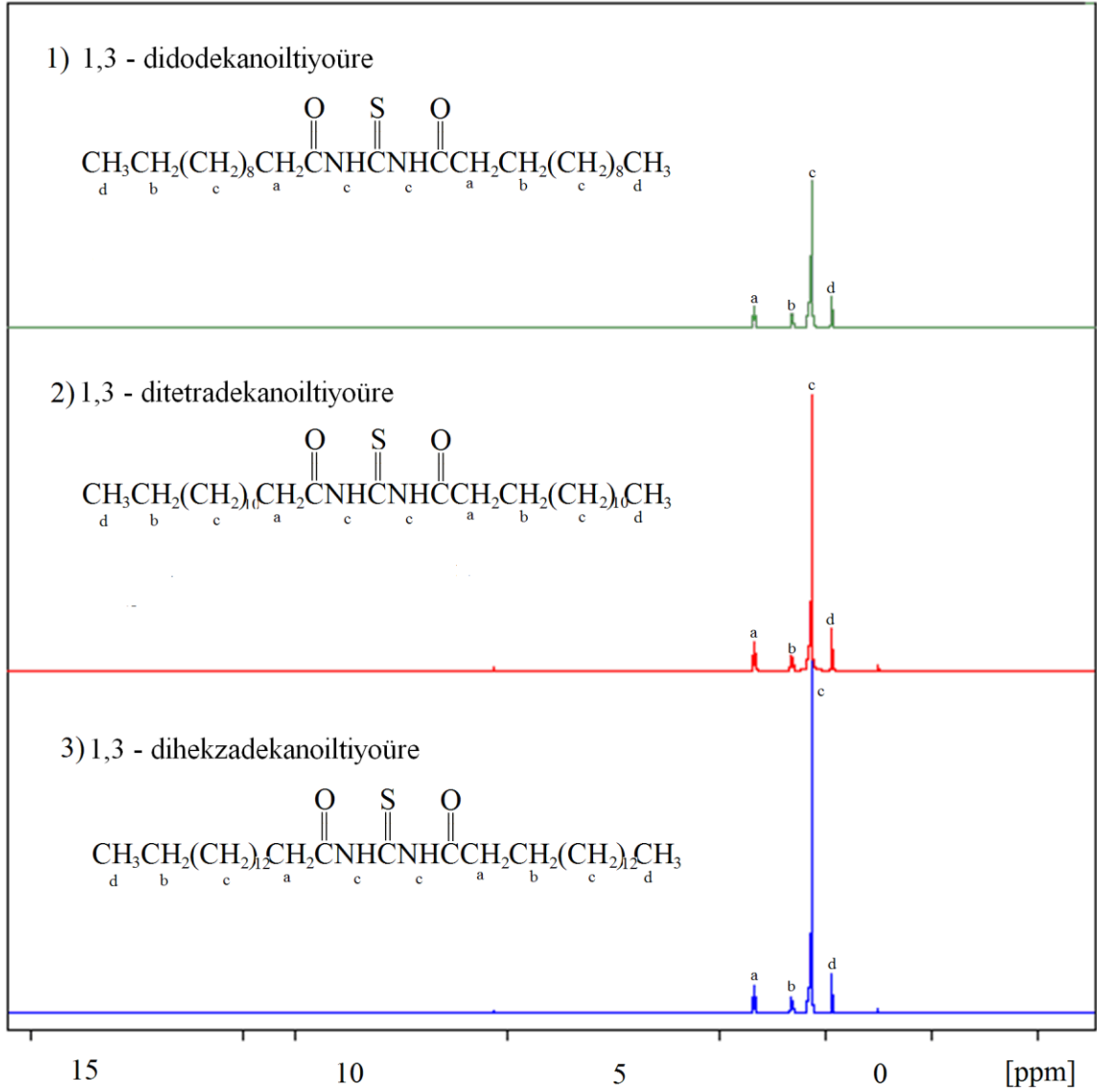
Üre dikarboksilatların ^1H -NMR spektrumları, karakteristik gurupları ve bu guruplara ait pikler şekil 4.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Üre dikarboksilatların ^1H NMR spektrumları

^1H -NMR spektrumlarından, üre dilaurat(1), üre dimiristat(2) ve üre dipalmitat(3)'a doğru CH_2 pik keskinliğinin (b) arttığı aşağıdaki şekilde açıkça görülmektedir. Bu artış diğer piklerle elde edilen oransal değerlerde de kendini muhafaza etmiştir. CH_2 guruplarına ait piklerdeki artış beklenen bir durumdur. Ayrıca işaretlenen gurupların tamamına ait pikler NMR spektrumlarında izlenebilmiştir. Safsızlığa işaret edebilecek bir pike ise rastlanmamıştır.

Tiyöüre dikarboksilatların ^1H -NMR spektrumları, karakteristik gruplar ve bu gruplara ait pikler ile birlikte Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Tiyöüre dikarboksilatların ^1H NMR spektrumları

Üre dikarboksilatlar için yapılan yorumlar tiyöüre dikarboksilatlar içinde geçerlidir. İşaretlenen gruplar spektrumlarda da yer almaktadır. Pik şiddetleri piklerin oluşumuna sebep olan grupların yoğunlukları ile orantılı olarak arttığı ortaya çıkmıştır. Safsızlığa işaret eden izlenebilir bir tepki ise gözlemlenmemiştir.

4.3. Isıl Özellikleri

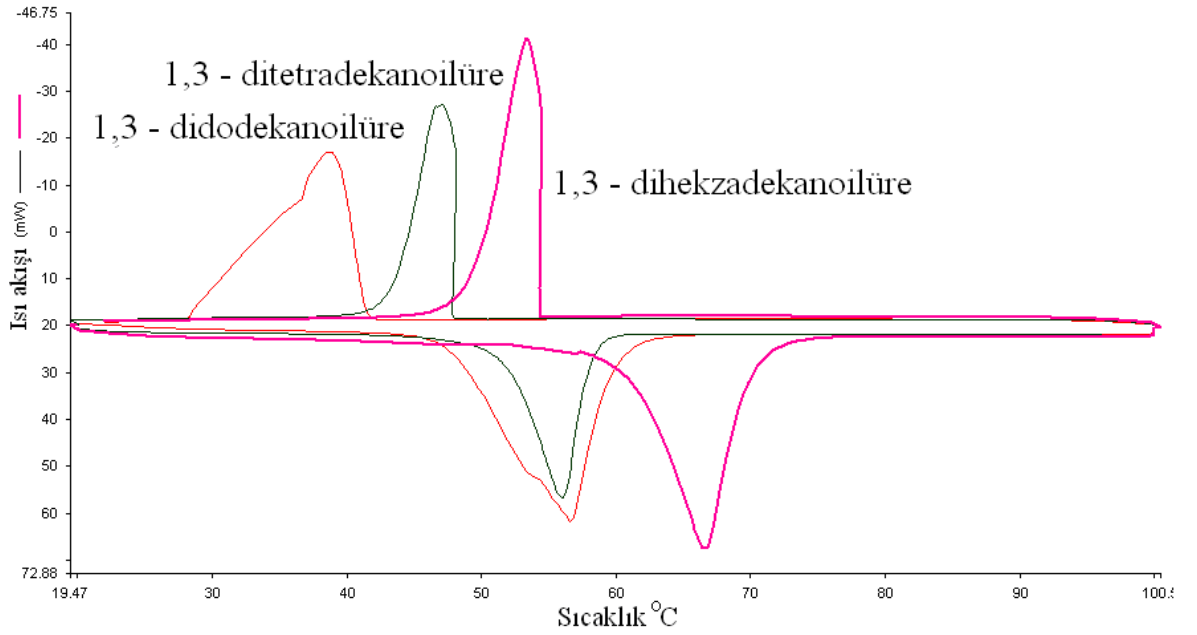
Şekil 4.5.'deki üre dikarboksilat serisinin faz değişim entalpisi ve erime sıcaklığı eğrisinden görüldüğü gibi parafinik yöndeki karbon sayısının artması ile dikarboksilat serisinin faz değişim sıcaklığı artmıştır. Zincir yönündeki C atomlarının sayısının artışı ile erime entalpisi değerleri üre dilaurat, üre dimiristat ve üre dipalmitat için sırasıyla 47,54, 51,56, and 61,01°C sıcaklıklarında 136,66, 145,68 ve 155,82 J/g entalpi değerlerinde ölçülmüştür. Kristalizasyon ise üre dilaurat, üre dimiristat ve üre dipalmitat için sırasıyla 41,46, 47,86 ve 52,63°C sıcaklıklarında -159,4, -183,68 ve -191,22 J/g olarak ölçülmüştür. Üre dikarboksilatlar a ait ısı analiz verileri Tablo 4.1.'de özetlenmektedir.

Tablo 4.1. Üre dikarboksilatların ısı analiz verileri.

	Üre Dilaurat	Üre Dimiristat	Üre Dipalmitat
Erime Sıcaklığı(°C)	47,54	51,56	61,01
Isıl Döngü Sonrası Erime Sıcaklığı(°C)	46,26	49,91	56,04
Erime Entalpisi(J/g)	136,66	145,68	155,82
Isıl Döngü Sonrası Erime Entalpisi(J/g)	224,71	156,88	162,41
Katılaşma Sıcaklığı(°C)	41,46	47,86	52,63
Isıl Döngü Sonrası Katılaşma Sıcaklığı(°C)	42,64	47,26	57,47
Katılaşma Entalpisi(J/g)	-159,4	-183,68	-191,22
Isıl Döngü Sonrası Katılaşma Entalpisi (J/g)	-120,22	-135,33	-152,27

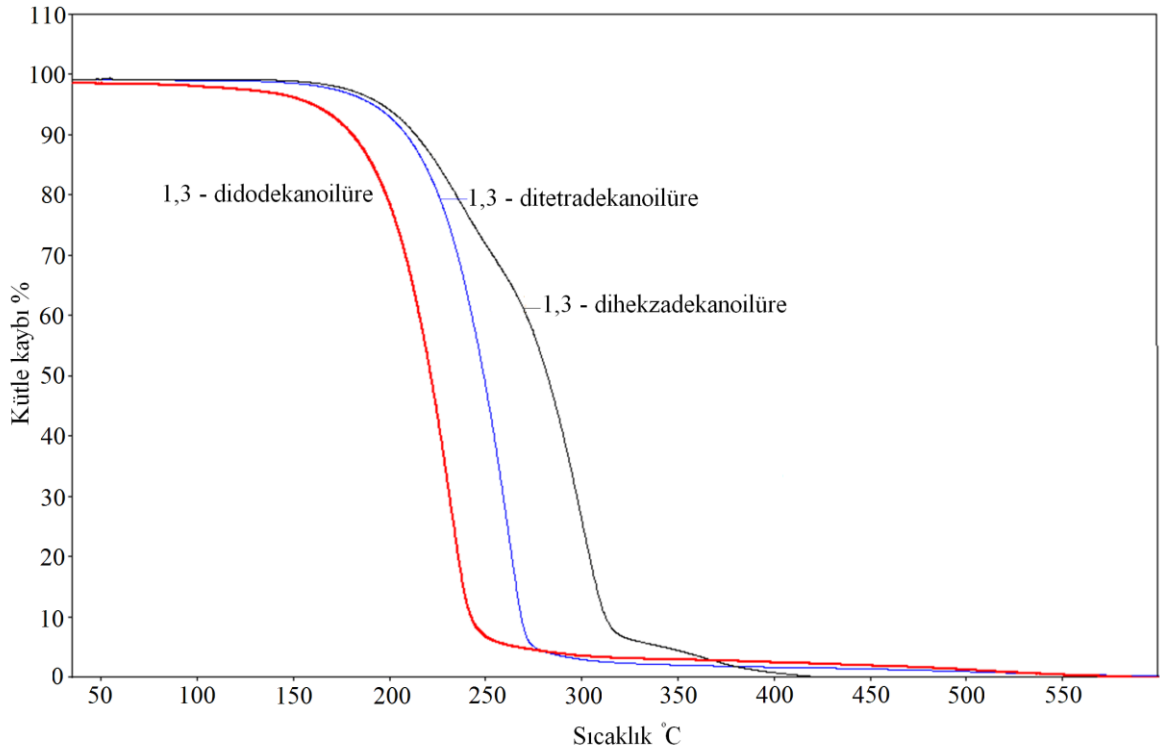
Üre dikarboksilatlar arasında üre dipalmitat ısı dönüşüm sonrasında sırasıyla % 13.84 ve % 11.74 yüzdelik dilimler içinde 6.98°C kristallenme sıcaklıklarında ve 17.05 J/g erime entalpisinde maximum değişim gösterir.

Bu duruma üre dikarboksilatların farklı kristal yapılarından dolayı katı halden sıvı hale geçişte farklı büyüklükte enerjiye ihtiyaç duymaları neden olabilir. Üre dikarboksilatların kristal bütünlüğü, kristalizasyon sırasında C-C zincirinin uzunluğunun tam etkisinden dolayı sırasındaki C atomlarının artması ile artar. Bir endotermik/ekzotermik pik yalnızca üre dikarboksilatların seri bir ısıtma/soğutma işlemi boyunca gözlemlenir. İlaveten, oluşan üre dikarboksilatlar 47,54°C – 61,01°C sıcaklıkları arasında uygun bir faz değişim sıcaklığına sahip olurlar. Bir bütün olarak, uygun erime sıcaklığı ve mükemmel ısı depolama yoğunluğu ile elde edilen üre dikarboksilatlar uygulanabilme potansiyeline sahiptirler. Şekil 4.5.'de üre dikarboksilatların faz değişim entalpisi ve erime sıcaklığı eğrileri verilmektedir.



Şekil 4.5 Üre dikarboksilatların faz değişim entalpisi ve erime sıcaklığı eğrileri

Aşağıdaki şekilde ise üre dikarboksilatların TG eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Üre dikarboksilatların TG eğrileri (1,3 – didodekanoilüre, 1,3 – ditetradekanoilüre ve 1,3 – diheksadekanoilüre)

Oluşturulan üre dikarboksilat serisi üre ve karboksilik asitten gelen bileşenlere sahiptir, bundan dolayı üre dikarboksilatlar iki basamakta bozunurlar. Bozunma basamakları hemen hemen aynıdır. TG eğrilerinde görülen birinci bozunma basamağı yağ asidinden gelen türe aitken ikinci bozunma üreden gelen türe aittir.

Tablo 4.2.'den de görüldüğü üzere zincir yönündeki C atomlarının sayısının artışı ile erime entalpisi değerleri tiyoüre dilaurat, tiyoüre dimiristat ve tiyoüre dipalmitat için sıraya göre 40,16, 44,66, and 51,68°C sıcaklıklarında 116,27, 122,45 ve 153,56 J/g olarak ölçülmüştür. Kristalizasyon entalpileri ise tiyoüre dilaurat, tiyoüre dimiristat ve tiyoüre dipalmitat için sırasıyla 42,54, 47,36 ve 52,04 °C sıcaklıklarında -112,43, -126,68 ve -150,62 J/g olarak belirlenmiştir.

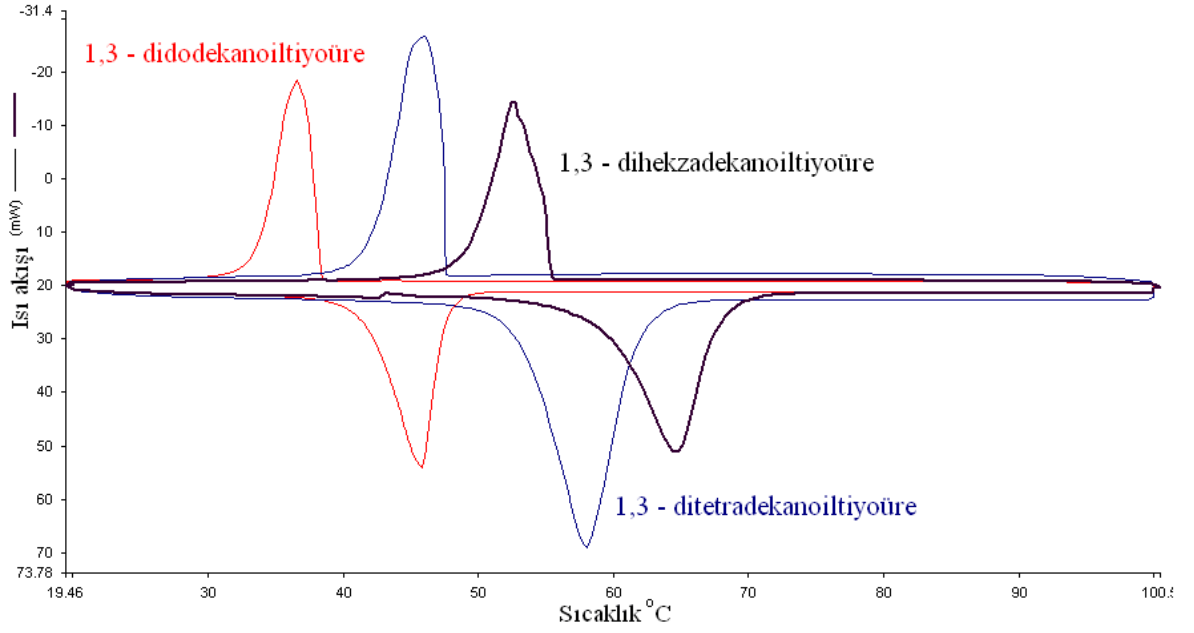
Tablo 4.2. Tiyoüre dikarboksilatların ısı analiz verileri.

	Tiyoüre Dilaurat	Tiyoüre Dimiristat	Tiyoüre Dipalmitat
Erime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	40,16	44,66	51,68
Isıl Döngü Sonrası Erime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	42,46	49,27	56,73
Erime Entalpisi (J/g)	116,27	122,45	153,56
Isıl Döngü Sonrası Erime Entalpisi (J/g)	114,59	119,53	148,79
Katılaşma Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	42,54	47,36	52,04
Isıl Döngü Sonrası Katılaşma Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	43,93	49,23	54,12
Katılaşma Entalpisi (J/g)	-112,43	-126,68	-150,62
Isıl Döngü Sonrası Katılaşma Entalpisi (J/g)	-109,97	-122,41	-142,73

Tiyoüre dikarboksilatlarında ısı dönüşüm öncesi ve sonrasında sıcaklık ve entalpi değerlerinde önemli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Entalpi değerlerindeki artış tiyoüre dikarboksilatların farklı kristal boyutlarından dolayı katı halden sıvı hale geçişte farklı büyüklükte enerjiye ihtiyaç duymaları şeklinde açıklanabilir. Tiyoüre dikarboksilatların kristal bütünlüğü, kristalizasyon sırasında C-C zincirinin uzunluğunun tam etkisinden dolayı C atomlarının artması ile artar. Oluşan tiyoüre dikarboksilatları $40,16^{\circ}\text{C}$ – $51,68^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında uygun bir faz değişim sıcaklığına sahip oldukları görülmektedir.

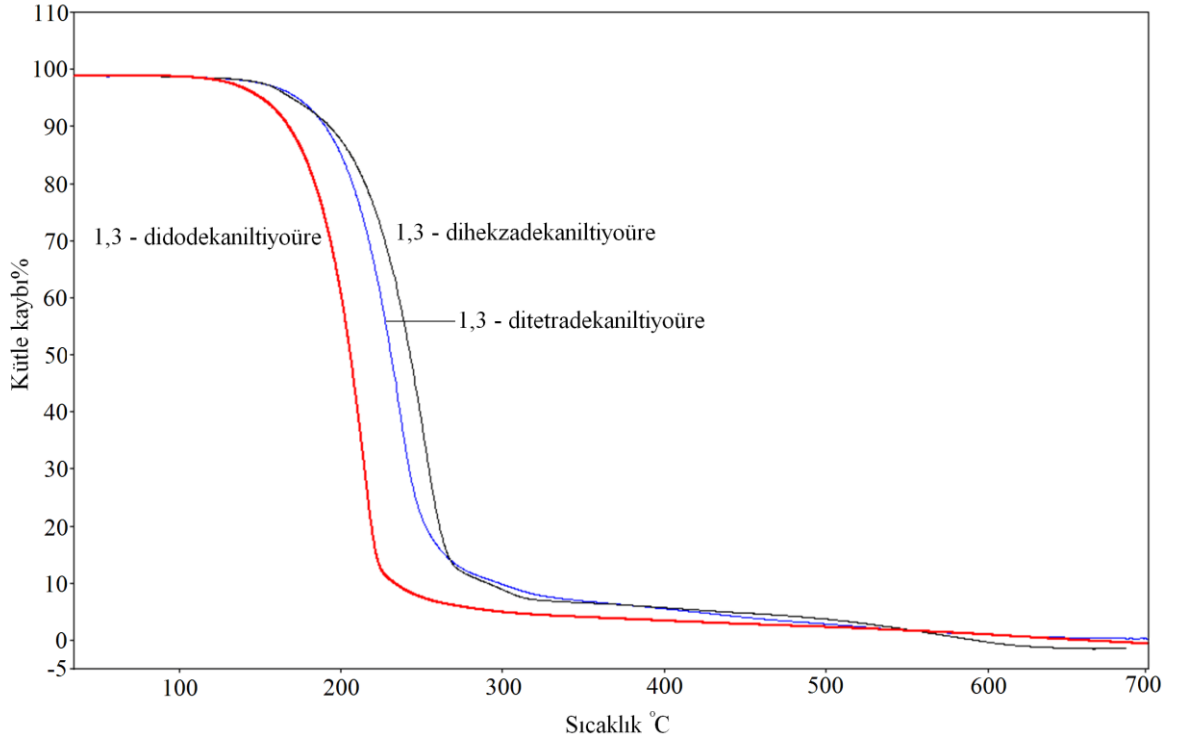
Sonuç olarak, uygun erime sıcaklığı ve mükemmel ısı depolama yoğunluğu ile elde edilen tiyoüre dikarboksilatlar çoğu faz değişim materyallerinden daha etkin olarak kullanılabileceklerdir.

Şekil 4.7.'de ise tiyoüre dikarboksilat serisinin DSC termogramları görülmektedir. Burada faz değişim entalpisi ve erime sıcaklığı eğrisinden görüldüğü gibi zincirdeki CH_2 gurubu sayısı arttıkça parafinik yöndeki dikarboksilat serisinin faz değişim sıcaklığı ve entalpileri artmıştır.



Şekil 4.7. Tiyoüre dikarboksilatların faz değişim entalpisi ve erime sıcaklığı eğrileri (1,3-didodekanoiltiyoüre, 1,3-ditetradekanoiltiyoüre ve 1,3-diheksadekanoiltiyoüre)

Şekil 4.8.'de tiyoüre dikarboksilatların TG eğrileri verilmektedir. Oluşturulan tiyoüre dikarboksilat serisi aynı türden bileşenlere sahiptir, yani içyapıları benzerdir. Tiyoüre dikarboksilatlar iki basamaklı bozunma reaksiyonlarında hemen hemen aynı sıcaklıkta bozunmaya başlarlar. Her ölçümde tiyoüre evaporasyonu ikinci basamaktaki bozunmaya tekâmül ederken birinci basamak laurik, miristik ve palmitik guruplarının buharlaşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.8. Tiyoüre dikarboksilatların TG eğrileri (1,3 - didodekaniltiyoüre, 1,3 - ditetradekaniltiyoüre ve 1,3 - diheksadekaniltiyoüre)

4.4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üre dikarboksilatlar, üre ile farklı erime noktalı yağ asidi açıl klorürünün kondenzasyonu ile üretildi. Üretilen türlerin yapısal karakterizasyonları FT-IR ve NMR analizleri ile tamamlandı. Isıl analizler için DSC ve TGA sistemleri kullanıldı. Üre dikarboksilatların ısıl güvenirlilikleri ısıl dönüşüm cihazında 1000 ısıl döngü sonrasında FT-IR ve DSC ölçümleri alınmak suretiyle ispatlandı.

Tiyoüre dikarboksilatlar, tiyoüre ile farklı erime noktalarına sahip yağ asidi açıl klorürünün kondenzasyonu ile üretildi. Üretilen türlerin yapısal karakterizasyonları FT-IR ve NMR analizleri ile tamamlandı. Isıl analizler için DSC ve TGA sistemleri kullanıldı. Tiyoüre dikarboksilatların ısıl güvenirlilikleri ısıl dönüşüm cihazında 1000 ısıl döngü sonrasında FT-IR ve DSC ölçümleri alınmak suretiyle ispatlandı.

Yapılan analizler neticesinde üre ve tiyoüre dikarboksilatlarda erime-donma noktaları ve entalpileri referans olan yağ asitlerinde olduğu şekilde üre ve tiyoüre dilaurattan, üre ve tiyoüre dipalmitata doğru arttığı izlendi. Amin gurupları arasında bulunan CH_2 guruplarının artması neticesinde ise entalpi değerlerinde küçük bir artış görüldü.

Bileşenlerin ısıl kararlılığı TG analizi ile test edildi ve üre ve tiyoüre dikarboksilatların 170 °C civarında 2 farklı basamakta bozunduğu bulundu. Elde edilen üre ve tiyoüre dikarboksilatlar uygun erime sıcaklığı ve mükemmel ısı depolama yoğunluğu ile yaygın şekilde kullanılabilme potansiyeline sahip bulunduğu ispatlandı.

Çalışmanın genişletilmesi için yapılacak bazı öneriler şu şekilde sıralanabilir:

1. Üre ve tiyoüre dikarboksilat bileşiklerinin ısı sığalarına dayanan ve duyulur ve gizli ısı toplam değerlerini veren ısı analiz verileri gerekli kinetik programı içeren bir DSC sistemi kullanmak suretiyle ileri çalışma olarak ele alınabilir. Yapılan çalışma yeni tip materyaller üretilip bunların yeterli potansiyel taşıyıp taşımadığının belirlenmesi üzerine olup iletkenlik gibi bazı özelliklerin test edilmesi malzeme hakkında daha fazla bilgi sağlanması açısından önemlidir.
2. Üre ve tiyoüre dikarboksilat bileşiklerinin uygun metaller ile koordinasyon bileşikleri hazırlanarak ısı enerji depolama özellikleri bakımından test edilebilir. Elde edilecek kompleksler birim hacimdeki enerji depolama yoğunluğunu artırabilir. Üre ve tiyoüre dikarboksilat bileşiklerinin metal kompleksleri daha iyi entalpi ya da ısı iletkenlik değerlerine de sahip olabilirler.
3. Elde edilen bileşiklerin bol miktarlarda üretilmesi ile farklı ısı uygulamalar için test edilebilmesi mümkün olabilir. Bu konuda bir ve ya birkaç mühendislik çalışması yapılabilir.
4. Üretilen yeni tip FDM materyallerinin makro ve ya mikro ölçekte kapsüllenerek yapıcı kararlı FDM'ye dönüştürülmesi üzerine çok sayıda çalışma tasarlanabilir.
5. Üre ve tiyoüre dikarboksilat bileşiklerinin adsorpsiyon yöntemi ile tutunma araştırması ve dolayısı ile adsorpsiyonla tutundurularak faz değişim maddeleri olarak çalışıp-çalışamayacağına dair bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

- ABHAT, A. 1983.** Low temperature Latent heat Thermal energy storage: heat storage materials. *Solar Energy* 30 (4): 313–314
- ARSLAN, Ö., 1993.** Enerjinin faz değişimi ile tuz hidratlarda depolanması. F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- BARAN, G. , SARI, A., 2003.** Phase change and heat transfer characteristics of a eutectic mixture of palmitic and stearic acids as PCM in a Latent heat storage System. *Energy Conversions and Management* 44:3227–3246.
- BUDDHI, D., SAWHNEY, R.L., 1994.** Proceeding of Thermal energy storage and energy conversions. School of energy and environmental studies. Devi Ahilya Universty. Indore, India. February 24–25.
- CEDENO, F.O., PRIETO, M. M., ESPINAC, A. GARCIA, J. R., 2001.** Measurements of temperature and binary and ternary mixtures by differential scanning calorimetry, *Thermochimica Acta*, 369 39-50.
- DIMAANO, R. M. N., ESCOTO, A.D., 1998.** Preliminary assesment of a mixture of capric and lauric acids for low temperature thermal enegy storage, *Energy*, 23 pp. 421–427.
- DIMAANO, R. M. N., WATANABE, T., 2002.** Performance investigation of the capric and Lauric acid mixture as latent energy storage for a cooling system, *solar Energy*, 72 pp.205-215.
- DİNÇER, İ., DOST, S., 1996.** A perspective on Thermal Energy Storage Systems for Solar Energy Applications. *International Journal of Energy Research*, 20 (6): 547–557.
- DOMANSKI, R., EL-SEBAIL, A.A., JAWORSKI, M. 1995.** Cooking during off-sunshine hours using pcms as storage media. *Energy* 20: 607–616.
- FELDMAN, D., KHAN, M. A. BANU, D., 1989.** Energy storage composite with an organic PCM, *Solar Energy Materials*, 18(6), pp.333-341.

GARG, H.P., MULLICK, S.C., BHARGAVA, A.K., 1985. Solar Thermal Energy Storage. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Co.

HALE, D.V., HOOVER, M.J., O'NEILL, M.J., 1971. Phase Change Materials Hand Book, Report no. HREC-5183-2LMSC-HREC D225138. NASA. Marshal Space Flight Çenter. Alabama.

HASNAIN, S., 1998. Review on sustainable thermal energy storage Technologies, part I: heat storage materials and technigues. Energy conservation and Management 39:1127–1138

HIMRAN, S., SUWONDO, A., MANSOORI, G., 1994. Characterization of alkanes and parafin waxes for application as phase change anergy storage nedium. Energy Sources 16: 117–128.

INABA, H., TU, P., 1997. Evaluation of thermophysical characteristics on shape-stabilized paraffin as a solid-liquid phase change material. Heat and Mass Transfer 32:307-312.

KARAİPEKLİ, A., 2006. Faz değışimli enerji depolama maddelerinde ısıl iletkenliğın zenginleştirilmesi (GOP Ü. Fen Bilimleri Enst. Yük. Lis. Tezi).

KAURANEN P, PEIPPO K, LUND PD. 1991. An Organic System with Adjustable Melting Temperature. Solar Energy, 46 (5): 275–278.

KELEŞ, S., 2003. Laurik-miristik asit ötektik karışımının enerji depolama özelliklerinin belirlenmesi (K.T.Ü Fen Bilimleri Enst. Yük. Lis. Tezi).

KILIÇ A., ÖZTÜRK A. 1983. Güneş Enerjisi Kip aş Basımevi, İstanbul 2007.

LANE, G. A., 1983. Solar Heat Storage: Latent Heat Materials, Vol. I. Boca Raton, Florida: CRC Press.

LANE, G.A., 1989. Phase Change Thermal Storage Materials. In: Hand Book of Thermal Desing. In: Guyer, C., ed. McGraw Hill Book Co.

LEE, C.H., CHOI, H.K., 1998. Crystalline Morphology in high density polyethylene/paraffin blend for thermal energy storage. *Polymer Composites* 19:704-708.

MAZMAN, M., 2000. Güneş enerjisinin faz değiştiren organik kimyasallarda gizli ısı şeklinde depolanması Çukurova Ün. Fen Bili. Enst. Yük. Lisans Tezi.

PILLAI, K.K., BRINKWARTH, B.J., 1976. The Storage of Low grade thermal energy using phase change materials. *Applied Energy* 2:205–216.

SARI, A., KAYGUSUZ, K., 2001a. Thermal performance of myristic acid as a phase change material for energy storage application. *Renewable Energy* 24:303-317.

SARI, A., KAYGUSUZ, K., 2001b. Thermal energy storage system using stearic acids as a phase change material. *Solar Energy* 71 (6): 365-376.

SARI, A., KAYGUSUZ, K., 2002. Thermal performance of a eutectic mixture of lauric and stearic acids as PCM encapsulated in the annulus of two concentric pipes. *Solar Energy* 72(6): 493–504.

SARI, A., 2003. Thermal Reliability Test of Some Fatty Acids as PCMs Used for Solar Thermal Energy Storage Applications. *Energy Conversion and Management*,

SARI, A., KAYGUSUZ, K., 2003. Some Fatty Acids Used for Latent Heat Storage: Thermal Stability and Corrosion of Metals with Respect to Thermal Cycling. *Renewable Energy*, 28, 939-948.

SARI, A., SARI, H., ve ÖNAL, A., 2004a. Thermal properties and thermal reliability of eutectic mixtures of some fatty acids as latent heat storage materials. *Energy Conversion & Management*, 45: 365–376.

SARI, A., 2004b. Form-stable paraffin/high density polyethylene composites as solid-liquid phase change material for thermal energy storage: preparation and thermal properties. *Energy Conversion and Management* 45:2033-2042.

SARI, A., TARHAN S., KAYGUSUZ, K., 2005. Enerjiyi düşük sıcaklıkta gizli ısı olarak depolayan kimyasal maddedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu. Kayseri.

SHARMA, S.D., BUDDHI, D., SAWHNEY, R.L., 1998. Accelerated thermal cycle tests of industrial grade phase change materials. Proc. National Solar Energy Convention–97: Towards Commercialization of clean Energy. Chennai. India. Anna University: 73–77

SHARMA, S. D., 1999. Study of Thermal Energy storage in phase change materials for low temperature solar application. Ph.D. Dissertations, Devi Ahilya University, Indore, India.

SHARMA, A., SHARMA, S.D., BUDDHI, D., 2000. Accelerated thermal cycle test of acetamide, stearic acid and paraffin wax for solar thermal latent heat storage applications. Energy Conversion and Management 43: 1923–1930.

TAYEB, A. M., 1995. Organic and inorganic mixtures for solar energy storage system. Energy Conversion and Management 36: 969–975.

TUNÇBİLEK K. 2005. Laurik-palmitik asit ötektik karışımının enerji depolama karakteristiklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi.

TÜBİTAK. 2003. Yenilenebilir enerji kaynakları platformu bölüm 6.

VELRAJ, R., SEENIRAJ, B., HAFNER, B., FABER, C., SCHWARZER, K., 1998. Heat transfer enhancement in a latent heat storage system. Solar Energy 65: 171–180.

WANG, X., LU, E., LIN, W., LIU, T., SHI, Z., TANG, R., WANG, C., 2000. Heat storage performance of the binary systems neopentyl glycol/pentaerythritol and neopentyl glycol/trihydroxy menthylaminomethane as solid phase change materials. Energy Conservation and Management 41: 129–134.

WORLD ENERGY OUTLOOK, 2002 IEA

ZALBA, B., MARIN J.M., CABEZA, L.F., MEHLING., 2003. Review on Thermal Energy Storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering* 23: 251–283.

ZHANG, J. J., ZHANG, J. L., HE, S. M., WU, K.Z., LIU, X. D., 2001. Thermal Studies on The Solid-Liquid Phase Transition Binary System of Fatty Acids, *Thermochim Acta*, 369 Pp.157-160.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Yusuf TEK
 Doğum Tarihi ve Yeri : 11.09.1984 / Polatlı
 Medeni Hali : Bekar
 Yabancı Dili : İngilizce
 Telefon : 0537 929 35 41
 e-mail : y_tek_06@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümü	(2007–)
Lisans	Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü	(2003–2007)
Lise	Polatlı (Y.D.A.) Lisesi	(1998–2002)