

**DEPO KISMINDA FAZ DEĞİŞTİREN MADDE BULUNAN
GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN TASARIMI
VE ISIL PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Mert GÜRTÜRK

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

ŞUBAT - 2011

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPO KISMINDA FAZ DEĞİŞTİREN MADDE BULUNAN GÜNEŞ ENERJİLİ SU
ISITMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE ISIL PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert GÜRTÜRK

Enstitü No: 08219101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 Ocak 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 03 Şubat 2011

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

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

Doç. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR (F.Ü.)

ŞUBAT- 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yardımları ve emeği geçen değerli hocalarım başta Doç. Dr. Hakan F. ÖZTOP, olmak üzere Prof. Dr. Yasin VAROL, Yrd. Doç. Dr. Ahmet KOCA'ya ve deney esnasında yardımına koşan arkadaşım Fatih BAYRAK'a teşekkür ederim. Bunun yanı sıra, Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Anorganik Kimya Bölümü hocalarından Prof. Dr. Mehmet ŞEKERCİ ve Arş. Gör. Zuhall ERGİN'e, TÜBİTAK'a, ÖZBAYLAR Güneş Enerjisi Sistemleri İml. İht. İhr. San. Tic. Ltd. Şti'ne projeye katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Benim için çok önemli bir yeri olan, ilahi varlığım, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, beni okutmak uğruna çok büyük zorluklar çeken, beni bu günlere getiren annem Semral GÜRTÜRK'e bir ömür boyu kalbimin sunabileceği tüm şükran ve minnettarlığımı sunarım.

Mert GÜRTÜRK
ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	III
SUMMARY	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLOLAR LİSTESİ	VI
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	10
1.1 Literatür Araştırması	13
1.1.1 Uygun FDM'nin Tespitini İçeren Çalışmalar	13
1.1.2 FDM' nin Sisteme Yerleştirilmesi İle İlgili Çalışmalar	14
1.1.3 FDM'nin Uygulama Alanlarına Yönelik Çalışmalar	14
1.1.4 Güneş Enerjisi Sisteminin Depo Ünitesinde Isı Transferini İyileştirmeye Yönelik Çalışmalar	15
2. MATERYAL VE METOT	16
2.1 Kullanılan FDM' nin Özellikleri.....	16
2.2 Sıcak Su Deposu İmalat Aşamaları	18
2.3 Deney Düzeneği ve Ölçüm Cihazları	23
2.4 Enerji ve Ekserji Analizi.....	30
3. BULGULAR	35
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	49
5. ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	55

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi ilk sıralarda yer almaktadır. Fakat her sezon ve her zaman kullanılabilir değildir. Bu yüzden, güneş enerjisini farklı yöntemlerle depolamak önemlidir. Termal ısı depolamanın popüler yöntemlerinden biri de Faz Değiştiren Madde kullanmaktır. Bu maddelerin ısı depolama kapasiteleri yüksektir.

Bu çalışma, Elazığ ilinde ve güneş ışınımının düşük olduğu Kasım ayında yapılmıştır. Kollektörlerin eğim açısı, ticari olarak kullanılan güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin kollektör açıları ile aynı eğim açısı olan 38°'dir. Sıcak su tankının sıcak su ve yalıtım malzemesi arasına FDM'nin bırakılacağı bir depo yapılmıştır. Bu depoya, iki farklı saf FDM'nin karışımı ile elde edilen FDM konulmuştur. Sistem kollektör ile sıcak su deposu sıcaklıklarını göz önünde bulundurarak sistemi aktif ve pasif duruma getirecek bir otomasyon sistemi ile desteklenmiştir.

Sistemin FDM'li ve FDM'siz olarak enerji, ekserji analizleri yapılmıştır. Bu analizin sonuçları, FDM'li deponun, FDM'siz depodan, daha fazla ısı depolayabildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: FDM, gizli ısı depolama, düzlemsel güneş kollektörü, güneş enerjisi.

SUMMARY

Investigation and design of performance of a solar water heating system with Phase Change Material in tank unit

Solar energy is one of the most important renewable energy sources but it is not available every time and every season. Thus, it is important to store solar energy in different way. One of the popular methods of thermal heat storage is using of phase change materials. They have large thermal energy storage capacity.

This study has been performed in province of Elazığ in november when solar radiation is low. The real solar water heating system and collector was chosen with 38° inclination angle. Its tank unit was modified to install PCM between insulation and hot water parts. In this part, two different PCM was mixture to obtain eutectic PCM. The system is supported by an automation system that it decides the system as active and passive between collector and storage unit.

As a results, energy and exergy analysis were performed for both PCM and without PCM. It is shown that PCM is more efficient than without PCM.

Key Words: PCM, Thermal storage, solar flat plate collector, solar energy.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	İçten kanatçıklı tankın görünümü	19
Şekil 2.2.	Spiral boru yerleştirilmiş düşey sıcak su tankının görünüşü	19
Şekil 2.3.	Spiral boru yerleştirilmiş düşey sıcak su tankının üstten görünüşü	20
Şekil 2.4.	Spiral boru yerleştirilmiş düşey sıcak su tankının içten görünüşü	20
Şekil 2.5.	FDM karışımları için kullanılan terazi	22
Şekil 2.6.	Karıştırıcı	22
Şekil 2.7.	Güneş enerjisi sistemi ve ekipmanları	24
Şekil 2.8.	Deney setinin görünümü	25
Şekil 2.9.	Deponun ölçülendirilmesi ve ısı çiftlerin yerleşim noktaları	26
Şekil 2.10.	Kollektörün ölçülendirilmesi ve ısı çiftlerin yerleşim noktaları	26
Şekil 2.11.	Güneş enerjili su ısıtma sisteminin önden görünüşü	28
Şekil 2.12.	Sıcak su deposuna FDM yerleştirmek için kullanılan kapakların görünümü	29
Şekil 2.13.	Data-Logger ve Kontrol panosunun görünümü	29
Şekil 2.14.	Sıcak su deposunun katmanlarının görünümü	32
Şekil 3.1.	11 Kasım 2009 günü FDM'siz depoya giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri	36
Şekil 3.2.	12 Kasım 2009 günü FDM'siz depoya giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri	37
Şekil 3.3.	19 Kasım 2009 günü FDM'li depoya giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri	38
Şekil 3.4.	24 Kasım 2009 günü FDM'li depoya giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri	39
Şekil 3.5.	11 Kasım 2009 günü FDM'siz depoya giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri	40
Şekil 3.6.	12 Kasım 2009 günü FDM'siz depoya giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri	41
Şekil 3.7.	19 Kasım 2009 günü FDM'li depoya giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri	42

Şekil 3.8.	24 Kasım 2009 günü FDM’li depoya giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri	43
Şekil 3.9.	11 Kasım 2009 FDM’siz deponun enerji, ekserji net verim değerleri	44
Şekil 3.10.	12 Kasım 2009 FDM’siz deponun enerji, ekserji net verim değerleri	45
Şekil 3.11.	19 Kasım 2009 FDM’li deponun enerji, ekserji net verim değerleri	46
Şekil 3.12.	24 Kasım 2009 FDM’li deponun enerji, ekserji net verim değerleri	47

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Elde edilen hibrit FDM'nin içerisinde kullanılan iki farklı FDM'nin termofiziksel özellikleri.	17
Tablo 2.2. (SHP) - (AAS) farklı yüzdelerdeki karışımları için elde edilen termal özellikler[29].	17
Tablo 2.3. Elde edilen FDM'nin termofiziksel özellikleri	18

SEMBOLLER LİSTESİ

A_y	: Deponun yan yüzey alanı (m^2)
$A_{ü,a}$	: Deponun üst ve alt yüzey alanı (m^2)
C_p	: Özgül ısı (J/kgK)
h_o	: Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
K_y	: Deponun yan kısmındaki toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
$K_{ü,a}$	: Deponun üst, alt kısımlarındaki toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
k_s	: Sac ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_i	: Yalıtım ısı iletim katsayısı (W/mK)
L_s	: Sac levha kalınlığı (m)
L_i	: Yalıtım kalınlığı (m)
P	: Pompa gücü (W)
T_g	: Kontrol hacmine giren akışkanın sıcaklığı (K)
$T_ç$	: Kontrol hacminden çıkan akışkanın sıcaklığı (K)
T_{FDM}	: FDM sıcaklığı (K)
T_o	: Çevre sıcaklığı (K)
Q_g	: Akışkana geçen faydalı ısı (W)
Q_d	: Depolanan ısı (W)
Q_k	: Kayıp ısı (W)
$Q_{k,y}$	: Deponun yan yüzeyinden olan ısı kaybı (W)
$Q_{k,ü,a}$	: Deponun üst, alt kısımlarından olan ısı kaybı (W)
ν	: Hacimsel debi (m^3/s)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
$\eta_{(toplam)}$	: Enerji verimi (%)
$\eta_{(net)}$	: Net enerji verimi (%)
E_g	: Giren ekserji (W)
E_k	: Kayıp ekserji (W)
E_d	: Depolanan ekserji (W)
$\eta_{ex(toplam)}$	: Ekserji verimi (%)

$\eta_{ex(net)}$: Net ekserji verimi (%)

KISALTMALAR:

FDM : Faz Değiştiren Madde
DSC : Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
SHP : Sodyum Hidrojen Fosfat
AAS : Alüminyum Amonyum Sülfat

1. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji ihtiyacı ve bunun yanında azalan enerji kaynakları, enerjide dışa bağımlılığın getirdiği stratejik ve politik dezavantajlar ve dünyada kullanılan enerjinin %90' nına yakınının fosil kaynaklardan temin edilmesinden dolayı artan küresel ısınma, ülkelerin yeni, temiz, yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmalarını ve bu alanda yaptıkları yatırımları artırmasına neden olmuştur. Bu oluşum güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki popüleritesini de hızla arttırmakta ve tasarruf önlemlerinin alınmasında önemli bir yol kat etmesini sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin en büyük dezavantajı sürekli bir enerji kaynağı olmamasıdır. Bu dezavantajı kısmen azaltmak için kullanılan yöntemlerden birisi de ısı depolama kapasiteleri büyük olan maddelerle güneşin bol olduğu zamanlarda ısı enerjisini depolamak ve daha sonra kullanmaktır. Bu amaca uygun olarak saf halde veya karışım yoluyla elde edilen Faz Değiştiren Maddeler (FDM) kullanılmaktadır. Bu maddeler, faz değişimi esnasında gizli ısı depolayabilme özelliğinden faydalanarak güneş enerjisinin depolanmasında kullanılan bu maddelere literatürde Faz Değiştiren Madde adı verilmektedir.

Isı depolama, duyulur ve gizli ısı olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Duyulur ısı depolama, maddeye ısı enerjisi verilmesi süresince maddenin faz değişikliğine uğramadan ısıyı depolamasıdır. Duyulur ısı depolamada, ısının depolanması sürecinde kullanılan maddenin, verilen ısıyla doğru orantılı olarak maddenin sıcaklığında devamlı bir değişim söz konusudur. Duyulur ısı depolamada kullanılan maddelerden istenilen termofiziksel özellikler göz önünde bulundurulduğu zaman, bu maddeler genellikle doğada bol miktarlarda bulunmaktadır. Yine bununla paralel olarak, bu maddelerin maliyetleri de düşüktür. Çok sayıda ısı depolama ve geri kazanma çevriminin gerçekleştirilebilmesi, duyulur ısı depolamanın en önemli özelliğidir. Duyulur ısı depolayan sistemlerde, istenilen sıcaklıkta ısı depolayabilmesi için, özel tasarım ve işletimsel özellikler gerektirmektedir. Duyulur ısı depolamada, temel olarak 3 yöntem vardır. Bunlar; Atmosfer basıncı veya daha yüksek basınçlarda yüksek sıcaklıktaki iş gören akışkanı depolama yöntemi, yüksek sıcaklık ve basınçlarda iş gören akışkandan ısı depolama maddesine ısı geçişi sağlama yöntemi ve ısı depolama ünitesindeki bir akışkandan ikinci bir akışkana ısı transferi sağlama yöntemidir.

Duyulur ısı depolama, kullanılan ısı depolama materyaline göre; sıvı materyallerde, katı materyallerde, sıvı ve katı materyaller ile birlikte ısı depolama şeklinde incelenmektedir.

Gizli ısı ile depolama, maddenin faz değiştirmesi esnasında oluşur. Isı depolama maddesinin iç enerjisinin önemli oranda değişmesi, maddenin faz değiştirmesine neden olur. Gizli ısı depolamasında, katı-sıvı, katı-katı, katı-buhar, sıvı-buhar faz değişiminden yararlanılır. Katı-katı faz değişimleri, maddenin kristalleşme ısısı şeklinde ısı depolayabilirler. Fakat gizli ısı depolama kapasiteleri çok dūřuktur. Katı-buhar faz değişiminde ise gizli ısı depolama yeteneği yüksektir. Fakat faz değişiminde materyalin konulduğu kaba yüksek basınç uygulayacaktır. Bu yöntemin uygulanmasındaki en büyük dezavantaj, oluşan yüksek basının emniyet maliyetlerini arttırmasıdır. Oluřan yüksek basınç, maddenin faz değiştirme sıcaklığını yükselteceği gibi maddenin konulduğu depoya zarar vermesi, korozif etkileri tetiklemesi ve sızdırmazlık gibi, maliyeti arttırıcı önlemlerin alınmasını gerektirir. Katı-sıvı faz değiştiren maddeler ise katı-katı faz değiştiren materyallere göre gizli ısı depolama kapasiteleri daha yüksektir. Katı-sıvı faz değiştiren maddeler, katı-buhar faz değiştiren materyallere oranla gizli ısı depolama kapasiteleri dūřuktur. Fakat katı-sıvı faz değiştiren maddelerin genleşmesi sonucu ortaya çıkan basınç değişimi ile karşılaştırıldığı zaman, katı-buhar faz değişiminde ortaya çıkan problemler ile nispeten karşılaşılmaz.

Mevcut projede de tercih edilen katı-sıvı faz değişiminde, diğer faz değişimlerine oranla daha az bir hacim değişimi gerçekleşir. Bu tür faz değişimi yapan maddeler, diğerlerine oranla kısmen daha fazla ısı depolayabilirler. Isı depolama amacıyla, belirli sıcaklıklarda erime, buharlaşma veya diğer faz değişimlerine uğrayan ve ısı depolama kapasitesi yüksek olan maddelerden yararlanılır. Gizli ısı depolama yöntemi, ısı depolama kapasitesinin yüksek olması ve ısı depolama maddesinin faz değiştirme sıcaklığının sabit sıcaklıkta ısı depolamak için uygun olması nedeniyle, diğer ısı depolama yöntemlerine göre daha uygundur.

Güneş enerjisiyle enerji depolayabilmek için kullanılacak maddelerin düşük sıcaklıkta faz değıştirme özelliklerine ve yüksek ısı depolama kapasitesine sahip olması istenir. Bir başka deyişle, GİZLİ ISI DEPOLAMA (ergime ısısı depolama), teriminden genellikle, istenilen sıcaklık aralığında eriyip-katılaşarak faz değıştirebilen maddelerde erime ısısı şeklinde ısı depolama anlaşılmaktadır.

Gizli ısı depolama yönteminin diğeri ısı depolama yöntemlerine olan üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [1].

- Duyulur ısı depolamaya kıyasla, ısı depolama kapasitesi yüksektir.
- Daha az ısı depolama maddesi kullanıldığından, gerekli ısı deposu hacmi daha azdır.
- FDM birim kütlesinin ısı depolama kapasitesi yüksektir.
- FDM'lerin faz değıştirme sıcaklıkları, sabit sıcaklıkta ısı depolama ve geri kazanma için uygundur.
- Sabit sıcaklıkta ısı gerektiren uygulamalar için yeterince uygundur.
- Büyük boyutlu sistemlerde ekonomik olarak uygulanabilirler.

FDM seçimi için günümüze kadar yapılmış olan araştırmalarda, gizli ısı depolama amacıyla yaklaşık 20000 adet bileşik ve bunların karışımları dikkate alınmıştır. Gizli ısı depolamak için FDM seçiminde řu özellikler dikkate alınır. Erime noktası, faz diyagramı, toksin etki, kimyasal kararlılık, koroziyon etki, yanma özelliğı emniyet maliyeti gibi hususlar FDM seçiminde göz önüne alınması gereken parametrelerdir [1]. FDM seçiminde göz önüne alınması gerek bu parametreler aynı zamanda kullanılacak FDM'nin maliyetini de arttırmaktadır. Bu dezavantaj FDM kullanımını kısıtlayan ön önemli problemlerden biridir.

1.1 Literatür Araştırması

Isı enerji depolamada, üzerinde çalışılan en önemli konulardan birisi de güneş enerjisinin depo edilmesidir. Amaç, güneş enerjisinin bol olduğu zamanlarda enerjiyi tutmak, yani bir yerde depolamak ve güneşin olmadığı zamanlarda kullanmaktır. Bu konuda birçok araştırmalar yapılmış ve halen bu konu üzerinde araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Kullanışlı bir güneş enerjisinden yararlanma sistemi yapmanın en önemli koşulu, iyi bir enerji depolamasının yapılmasıyla mümkün olur.

Aslında her güneş enerjisi sistemi bir miktar ısı enerjisini depolar. Fakat depolanan bu ısı yalnızca kısa bir süre için geçerlidir. Herhangi bir maddenin faz değişimi esnasındaki gizli ısısından faydalanarak güneş enerjisinin depolanmasında kullanılan bu malzemeler, yani FDM'ler organik, inorganik ve bunların karışımları olarak sınıflandırılırlar. Organik bileşiklerinin içine parafinler, parafin olmayan organikler ve poli alkoller girmektedir. İnorganik bileşiklere ise tuzlar, tuz hidratlar, metaller ve alaşımlar girmektedir [2,3].

FDM'ler ile ilgili literatür çalışmaları aşağıda verildiği gibi üç ana grupta incelenebilir.

1.1.1 Uygun FDM'nin Tespitini İçeren Çalışmalar

Gizli ısı depolama sistemleriyle ilgili olarak yapılan ilk çalışmalarda FDM olarak bal mumu ve parafinler kullanılmıştır [4]. Daha sonra özellikle tuz hidratlar ile ilgili birçok uygulamalar yapılmıştır [5,6,7]. İki farklı tuz hidrat farklı kaplara konularak bu kapların etrafından ısı transferi akışkanı geçirilmek suretiyle, ısı transferinde iyileşmenin sağlandığı çalışmalara da rastlanmaktadır [8]. Son yıllarda yağ asitlerinin performansları FDM olarak iyi sonuç vermiştir [9,10]. Saf olarak kullanılan organik veya inorganik FDM'lerin birçoğunun depolama kapasiteleri düşük veya erime sıcaklıkları depolamaya uygun olmadığından birden fazla maddenin karışımından oluşan yeni FDM'lerin kullanıldığı çalışmalar günümüzde oldukça popülerdir. Bu çalışmalarda erime sıcaklığı ve depolama kapasiteleri daha iyi olan yeni FDM'ler elde edilemeye çalışılmıştır [11,12,13].

Bu çalışmalarda iki veya üç farklı kimyasal maddenin farklı oranlardaki karışımları denenerek daha uygun yeni bir FDM elde edilmiştir. Ancak FDM olarak kullanılan çok sayıdaki maddelerin karışımlarının detaylı sonuçları incelenmemiştir.

1.1.2 FDM' nin Sisteme Yerleştirilmesi İle İlgili Çalışmalar

Bu alandaki ilk çalışmalarda FDM güneş kolektörünün hemen altına konularak ısıtma ve depolama aynı üniteye yapılmıştır [14]. Sonraki çalışmalarda FDM'nin sıcak su deposu ile yerleştirilmesinin daha verimli olduğu tespit edilmiştir [15]. Depo ünitesinde FDM'lerin kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, silindirik deponun dikey yerleştirilmesinin FDM'nin performansını daha iyi etkilediği görülmüştür [16]. Bir diğer çalışma konusu da mikro kapsül yöntemiyle yoğunlaştırılmış FDM'lerin yüksek basınçla özel kaplara konularak kullanılmasıdır [17,18].

Bu yöntemin ısı depolama yönünden avantajları olmasına rağmen, ileri teknoloji ile birlikte maliyetinin yüksek olması nedeniyle ticari olarak kullanımı sınırlıdır. Depo içerisinde ısı transferini iyileştirmek için aktif veya pasif yöntemlerin denenmesi ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır [19,20]. FDM'li düzlemsel güneş kolektörleri ile ilgili yapılan bir çalışmada, güneş kolektörünün alt tarafına yerleştirilen depo içerisine FDM yerleştirilmiş ve Ekim ayı içerisinde 3 farklı günde sonuçlar alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, FDM'nin özellikle güneşin olmadığı zamanlarda yüksek verime sahip olduğu tespit edilmiştir [21]. Ayrıca, mevcut sistemin Termodinamiğin I. ve II. kanunlarına göre analizleri yapılarak, enerji ve ekserji verimleri araştırılmıştır [7].

1.1.3 FDM'nin Uygulama Alanlarına Yönelik Çalışmalar

FDM'lerin özellikle güneş enerjisinden sıcak su elde etmek amacıyla, güneş kolektörleriyle kullanımı oldukça yaygındır [22,23,24]. Bunun dışında seralarda, güneş enerjili pişiricilerde, güneş enerjili havalı kolektörlerde, yapıların soğutulmasında ve yapıların güneş enerjisiyle ısıtılması gibi çeşitli sistemlerde FDM'ler kullanılmaktadır [25,26,27,28].

1.1.4 Güneş Enerjisi Sisteminin Depo Ünitesinde Isı Transferini İyileştirmeye Yönelik Çalışmalar

Bu konuda literatürde bulunabilen çalışmalar tamamen teorik çalışmalarla sınırlı olup, boylerli tip olmayan konvansiyonel güneş enerjisi sistemlerinde, cidara farklı geometriler yerleştirmek suretiyle sayısal çözümler yapılmıştır [20,29]. Bu çalışmalarda, depoda faz değiştiren madde kullanılmamış ve depo içerisinde yüksek hızda karma taşınım (mixed ya da combined) analizi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

FDM'nin güneş enerjisi sistemlerindeki kullanım amacı genel olarak, güneş enerjisi sistemlerini güneşin az olduğu zamanlarda daha verimli bir hale getirmeyi hedeflemektedir. Hava sıcaklığının düşük ve güneşin az olduğu zamanlarda ısı depolama kapasitesi yüksek olan FDM'ler kullanılarak, güneşin az olduğu zamanlarda, mümkün olduğunca çok ısı enerjisi depolayabilmek çalışmanın temel amacıdır. Bu nedenle deneyler, hava sıcaklığının düşük ve güneş enerjisinin az olduğu Kasım ayında ve havanın açık olduğu günlerde yapılmıştır.

2.1 Kullanılan FDM Özellikleri

FDM seçiminin kullanım amacına göre yapılması sistemin verimi açısından hayati öneme sahiptir. Bu çalışma, FDM'nin tasarlanan güneş enerjisi sistemine uygulanmasını içermektedir. Güneş enerjisi sistemlerinde, FDM seçimi havanın soğuk ve güneşin az olduğu bahar aylarında yapılmalıdır. Sistemin kurulacağı yörenin iklim şartlarına uygun erime sıcaklığı belirlenmesi önemlidir. Bu sayede kullanılacak FDM, amaca uygun olarak seçilerek daha yüksek verim elde edilebilir.

Bu çalışmada, termofiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmuş 6 adet FDM'nin farklı karışım oranlarında çalışarak, güneş enerjili su ısıtma sisteminin ısı çalışmaları aralıklarına uygun FDM'ler tespit etmek amacı ile Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) cihazında testler yapılmış, güneş enerjisi sisteminde kullanılacak en uygun FDM tespit edilmiştir [29].

Yapılan bu araştırma bize göstermiştir ki, güneş enerjisi sistemlerinde seçilen FDM'ler arasında Elazığ ilinin bahar aylarındaki hava şartlarında kullanılabilecek en uygun FDM'nin %40 oranında Alüminyum Amonyum Sülfat $((NH_4)Al(SO_4).6H_2O)$ ve %60 oranında Sodyum Hidrojen Fosfat $(Na_2HPO_4. 12H_2O)$ karışımı FDM olarak belirlenmiştir. Bu karışımda kullanılan maddelerin termofiziksel özellikleri ise Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 1. Elde edilen hibrit FDM'nin içerisinde kullanılan iki farklı FDM'nin termofiziksel özellikleri.

Kimyasal Madde Adı	Kısaltması	Formülü	Erime Sıcaklığı (°C)	Isı Depolama Kapasitesi (kJ/kg)
Sodyum Hidrojen Fosfat	SHP	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	35	256-281
Alüminyum Amonyum Sülfat	AAS	$(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	95	269

Farklı oranlarda alınan Sodyum Hidrojen Fosfat (SHP)- Alüminyum Amonyum Sülfat (AAS) karışımının DSC eğrilerine göre hesaplanan entalpi değerleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2. 2. (SHP) - (AAS) farklı yüzdelerdeki karışımları için elde edilen termal özellikler [29].

SHP: AAS	SHP:AAS T _m (°C)	h (kJ/kg)
0:100	70.23: 122.21	564.09
10:90	70.10:110.55	500.31
20:80	69.61: 97.80	512.99
40:60	61.78: 88.10	471.17
60:40	41.98: 60.42	288.13
80:20	48.30: 53.41	100.58
90:10	47.92: 53.49	111.37
100:0	57.42: 72.12	769.98

Elde edilmek istenen FDM'nin termofiziksel özelliklerinin güneş enerjisi uygulamalarında istenilen özellikleri göstermesi gerekmektedir.

Güneş enerjisi sisteminin kurulacağı yörenin iklim şartlarının tanımlanması, kullanılacak olan FDM'nin erime sıcaklığının belirlenmesi açısından, bakılması gereken ilk parametre olacaktır. Örneğin, sıcak bir iklimde erime noktasının yüksek olması arzu edilir. Soğuk bir iklimde ise erime noktasının sıcak bir bölgedeki sisteme nazaran daha düşük olması, güneş enerjisi sisteminde ısı depolama amacına daha iyi hizmet edecektir.

Bu sistemlerin asıl amacının güneşin az olduğu günlerde belirlenen depolama kapasitesine sahip olmaları istendiğinden, erime noktaları arasındaki fark büyük olmayacaktır. Sistemin kurulacağı yörenin iklim şartları göz önünde bulundurularak, istenilen FDM'nin termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu özellikler elde edilen FDM'nin Elazığ'ın iklim şartlarına uygun olarak ısı depolayabileceğini göstermiştir. Elde edilen yeni FDM'nin termofiziksel özellikleri ise Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2. 3. Elde edilen FDM'nin termofiziksel özellikleri.

Kimyasal formülü	%60 ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) %40 ($(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4).6\text{H}_2\text{O}$)
Erime noktası	41.98–60.42 °C
Yoğunluk (Katı Fazda)	1.46 g/mL
Yoğunluk (Sıvı Fazda)	1.38 g/mL
Özgül ısı kapasitesi (Katı Fazda)	334.13 J/molK
Özgül ısı kapasitesi (Sıvı Fazda)	590.79 J/molK
Erime ısı	288.13 kJ/kg

2.2 Sıcak Su Deposu İmalat Aşamaları

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin, FDM'li sıcak su deposu özel olarak imal edilmiştir. Öncelikle içten kanatçıklı dış sacın imalatı yapılmıştır (Şekil 2.1.). Şekil 2.2, Şekil 2.3. ve Şekil 2.4.' de ise, sırasıyla deponun spiralli iç kısmının üstten, önden ve yandan görünüşleri verilmektedir. Spirallerin cidarlara montajı U-profilli sacların punta kaynağı ile yapılmıştır.



Şekil 2.1. İçten kanatcıklı tankın görünümü.



Şekil 2.2. Spiral boru yerleştirilmiş düşey sıcak su tankının görünüşü.



Şekil 2.3. Spiral boru yerleştirilmiş düşey sıcak su tankının üstten görünüşü.



Şekil 2.4. Spiral boru yerleştirilmiş düşey sıcak su tankının içten görünüşü.

Çalışmanın bu bölümünde, Sodyum Hidrojen Fosfat (SHP) %60 ve Alüminyum Amonyum Sülfat (AAS) %40 karışım maddeleri, 10 gr hassasiyetindeki bir terazide tartımı yapılarak (Şekil 2.5.) mekanik bir karıştırıcıda, (Şekil 2.6.) her seferinde karıştırıcının haznesinin alabileceği ölçüde, FDM'ler bırakılmıştır. Karıştırma süreci, birkaç defa yapılarak her seferinde 800 gr AAS ve 1200 gr SHP karıştırıcının haznesine bırakılarak 25 dk. süre ile karıştırılmış ve çevre ortamdan nem kapmaması için özel kaplara doldurulmuştur. Böylece, toplam 17.2 kg AAS ve 25.8 kg SHP karıştırılarak 43 kg FDM elde edilmiştir. Katı fazdaki karıştırılmış FDM, hava ve su sızdırmazlığı sağlanan özel plastik kutularda 80°C sıcaklıklardaki sıcak su banyosunda su seviyesinin kapağa ulaşmayacak şekilde 20 dk. bekletilerek sıvı faza geçmesi sağlanmıştır. Böylece FDM depo içerisine homojen ve boşluk kalmayacak şekilde huni yardımı ile FDM için ayrılmış bölgeye doldurulmuştur. FDM'nin sistemdeki bölgeye yerleştirilmesi büyük bir önem ve hassasiyet gerektirmektedir. Karışımın homojen olarak sisteme koyulması ve FDM faz değiştireceği zaman kendisine gerekli olan alanın bırakılması yani FDM'nin faz değiştirdiğinde maddede oluşacak olan genleşme ile kaplayacağı hacmin artması sonucu sistemde basıncın oluşmaması ve FDM'nin genişlerken üzerine alacağı ısı miktarını arttırmak için çok önemlidir. FDM'nin termofiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak kullanılan FDM miktarının çalışma sıcaklıkları arasındaki genleşme miktarının hesaplanarak FDM'ye bu hareketi sağlayacak hacmin bırakılması gerekmektedir.



Şekil 2.5. FDM karışımları için kullanılan terazi.



Şekil 2.6. Karıştırıcı.

2. 3 Deney Düzeneği ve Ölçüm Cihazları

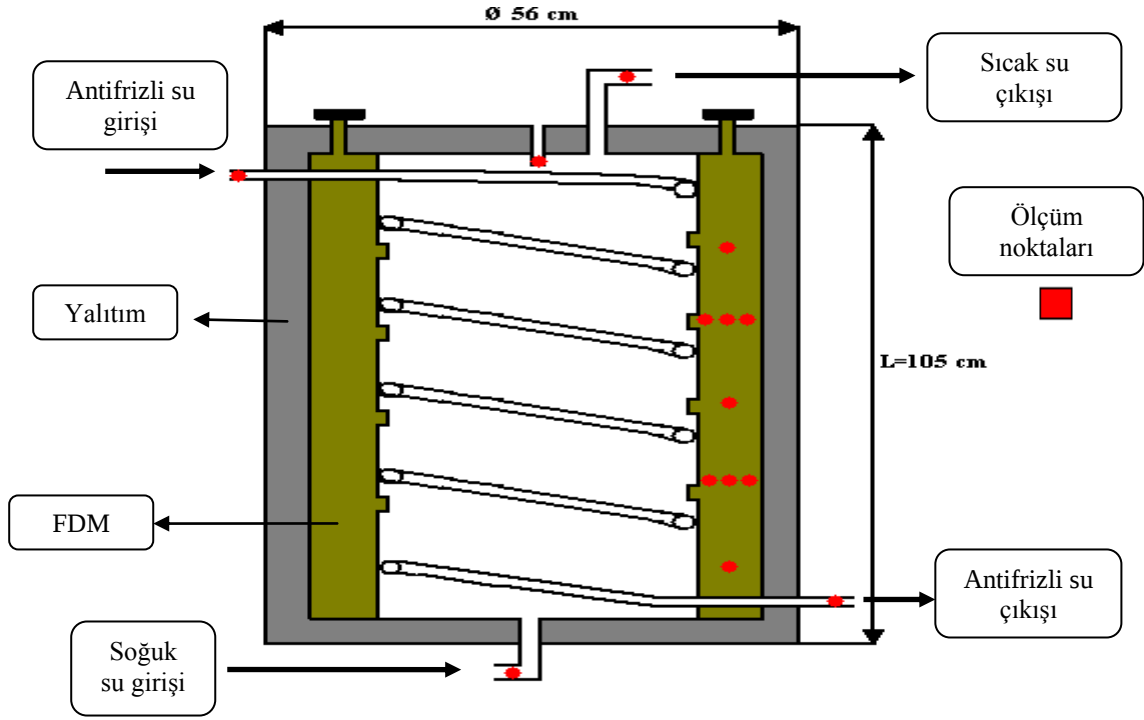
Tasarlanan sıcak su deposu güneş enerjisinin diğeri elemanları ile birlikte montaj edilmiş hali Şekil 2.7.'de gösterilmiştir. Deney setinde güneş ışıını KIPP&ZONEN marka CMP3 model Işınım probu ile ölçülmüştür. Işınım probunun hassasiyeti -40 °C ile +40 °C arasında %5, +40 °C ile + 80 °C arası ise %10' dur. Sistemde bakır selektif yüzeyli iki adet kolektör bulunmaktadır. Sistem, cebri sirkülasyonlu olup, bir pompa, (circulation pump, CP63 model) yardımıyla akış sirkülasyonu sağlanmaktadır. Pompa aşağıda verilen 3 kademe hız kontrolüne sahiptir:

1. Kademe 1050 RPM (revulation per minute) güç girişı 60W
2. Kademe 1400 RPM güç girişı 83W
3. Kademe 1800 RPM güç girişı 110W

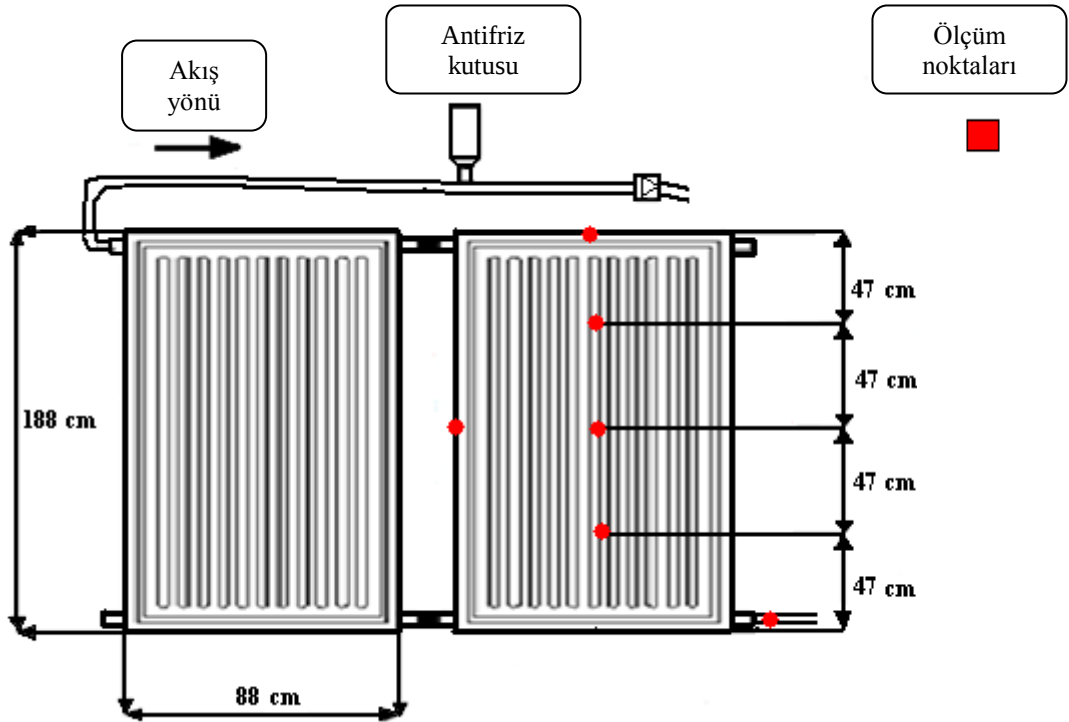
Deney esnasında 1. kademe (1050 RPM güç girişı 60W) seçilerek sistem çalıştırılmıştır. Sıcak su deposundan akışkanın geri dönüşünü önlemek amacıyla sisteme bir çekvalf yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümleri OMEGA ® firmasından temin edilen T-tipi Cu-Co, çift yalıtımlı teflon ısı çiftleriyle gerçekleştirilmiştir. Isıl çiftlerin ölçüm aralıkları - 150 ile + 400 °C, hassasiyeti ise +-%0.69'dur. Deney setinin şematik görünüşü Şekil 2.8.'de, ölçüm noktaları ve ölçülendirilmesi ise Şekil 2.9. (depo kesiti) gösterilmiştir. Bu şekillerde, özellikle ısı çiftlerinin yerleştirildiği noktalar, detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 2.10.'da ise kollektör yüzeyindeki sıcaklık ölçüm noktaları görölmektedir. Kollektör yüzeyinde çıkışa yakın, girişe yakın ve orta noktaya yakın olacak şekilde üç ayrı noktadan ısı çiftleriyle sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Isıl çiftler sonuçların aynı çıkacağı düşünülerek sadece sağdaki kolektöre yerleştirilmiştir. Kollektörler evsel su ısıtmada ve endüstride kullanılan standart boyutlu kolektörler olup, 1.65 m² yüzey alanına sahiptir.



Şekil 2.7. Güneş enerjisi sistemi ve ekipmanları.



Şekil 2.9. Deponun ölçülendirilmesi ve ısıl çiftlerin yerleşim noktaları.

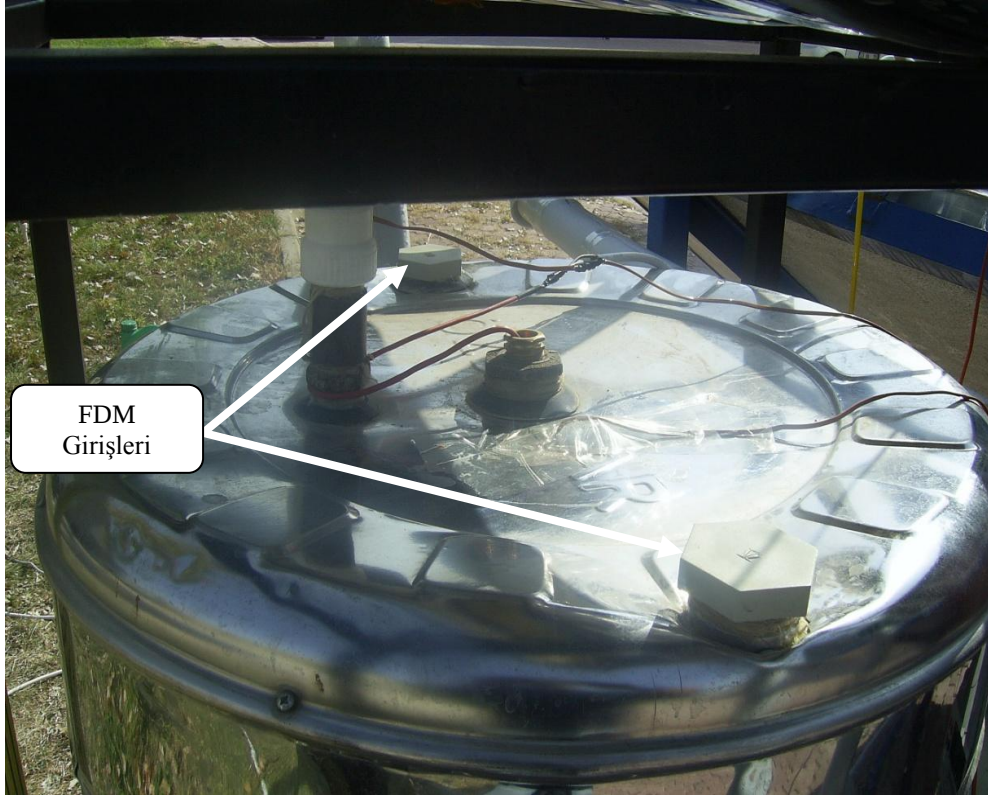


Şekil 2.10. Kollektörün ölçülendirilmesi ve ısıl çiftlerin yerleşim noktaları.

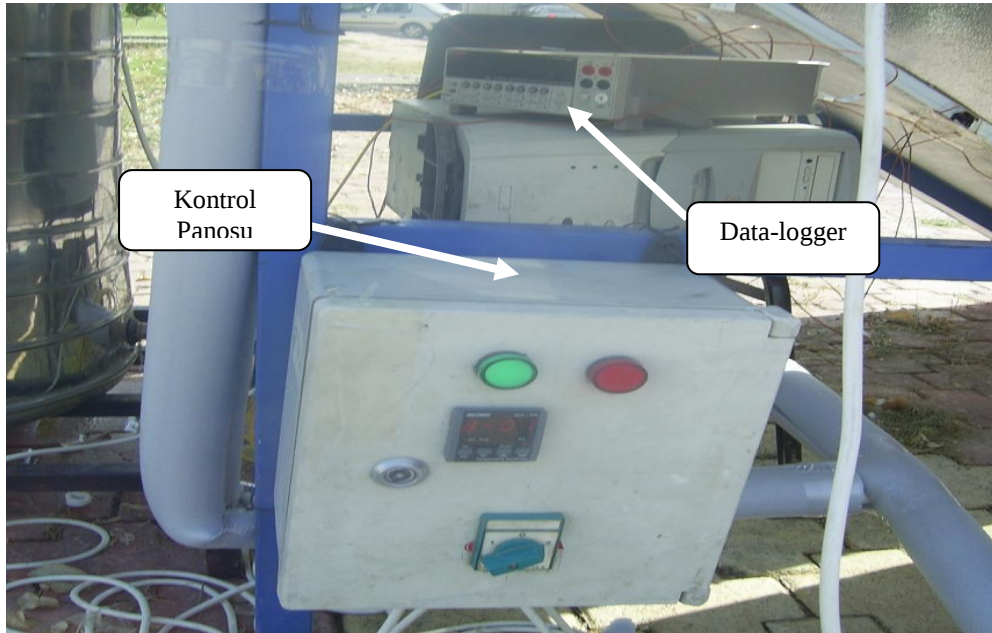
Hazırlanan yeni FDM'nin depoya konulma işlemi, deponun üst kısmında bulunan 2 bölmeden (Şekil 2.12.) yapılmaktadır. Sistemin tüm elektrik bağlantılarının yapıldığı, sıcaklık kontrolünün yapılarak pompanın açılıp kapanmasını sağlayan kontrol panosu ve data-logger Şekil 2.13.'de görülmektedir. Data-logger, KEITHLEY (40 kanallı) 2701 modelidir. Güneş enerjisi sisteminin çalışma durumunu denetleyen bir kontrol panosu kullanılmıştır. Kontrol panosunun görevi, kollektör sıcaklığı ve sıcak su deposundaki suyun sıcaklığını ölçerek duruma göre pompayı aktif ya da pasif hale getirmektedir. Kollektör sıcaklığı, sıcak su deposundaki suyun sıcaklığından yüksek ise pompa aktif duruma gelerek sisteme ısı depolayacaktır. Kollektör sıcaklığı, sıcak su deposundaki su sıcaklığından daha düşük bir değerde olduğu zaman ise pompa pasif hale gelerek sistemin tersine çalışmasını önlenecektir. Yani, güneşin olmadığı zamanlarda kollektör hızla soğuyacak ve halen devam eden sirkülasyon sıcak su deposundaki ısıyı alarak kollektörlere taşıyacağından ısı kaybına yol açacaktır. Bu durumda kontrol panosu pompayı pasif hale getirerek sıcak su deposunun deşarj olmasını önleyecektir. Deney düzeneğinde aynı zamanda rüzgâr hızını ölçmek için de bir anemometre (RAM, DT-619 model) kullanılmıştır. Anemometrenin ölçüm hassasiyeti ise 0.40–30 m/s aralarında ± 0.20 m/s ve sıcaklık ölçümü ise 0–50 °C'de ± 0.4 'dür.



Şekil 2.11. Güneş enerjili su ısıtma sisteminin önden görünüşü.



Şekil 2.12. Sıcak su deposuna FDM yerleştirmek için kullanılan kapakların görünümü.



Şekil 2.13. Data-Logger ve Kontrol panosunun görünümü.

2.4 Enerji ve Ekserji Analizi

Sistemin enerji ve ekserji analizleri, sistem şarj periyodu boyunca yapılmıştır. Kontrol hacim olarak sıcak su deposu alınmıştır. Ölçüm ve analizler Kasım ayında güneşin en etkin olduğu saatler arasında yapılmıştır. Bu saatler 9:00 ile 14:30 arasında güneş ışıının yüksek olduğu saatler olarak belirlenmiştir. Enerji ve ekserji analizi yapmak için, öncelikle, sistemin tanımlanması çok önemlidir. Sistemin yani kontrol hacminin şarj periyodu boyunca, kontrol hacmine giren ve çıkan enerji türlerinin ve miktarlarının belirlenmesi, yani termodinamiğin birinci yasasına göre kontrol hacminin analizi yapıldığı takdir de aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

Giren enerji = Depolanan enerji + Kayıp enerji

$$Q_g = Q_d + Q_k \quad (2.1)$$

Yukarıdaki formülasyonda, Q_g (W) kontrol hacmine giren ısı enerjisini, Q_k (W) kontrol hacminin alt, üst ve yan yüzeylerden olan ısı kayıplarını ve Q_d (W) ise kontrol hacmi olan sıcak su deposunda depolanan ısı miktarını ifade emektedir. Deponun kullanım amacına göre, yani elde edilmek istenilen yararlı ısı miktarı göz önünde bulundurulduğunda ifade tekrardan düzenlendiği zaman aşağıdaki eşitlik yazılır [26].

$$Q_d = Q_g - Q_k \quad (2.2)$$

Kontrol hacmine giren ısı enerjisi denklem (2.3)'den faydalanılarak yazılır. Burada, ν (m³/s) sisteme giren ısı transfer akışkanının hacimsel debisini ifade etmektedir. ρ (kg/m³) ısı transfer akışkanının yoğunluğunu, C_p (J/kgK) ısı transfer akışkanının özgül ısısını, T_g (K) ısı transfer akışkanının sisteme giriş sıcaklığı ve T_ς (K) ise sistemi terk eden ısı transfer akışkanın sıcaklığını ifade etmektedir [26].

$$Q_g = \nu \rho C_p (T_g - T_\varsigma) \quad (2.3)$$

Kontrol hacminden çevreye olan ısı kayıpları ise denklem (2.4)'den hesaplanır. Bu eşitlik kontrol hacminin şekli, boyutları, kullanılan malzemelerin özellikleri, çevre ile olan ilişkileri göz önüne alınarak sistemde oluşacak istenmeyen ısı kayıplarını hesaplamda yardımcı olacaktır. Burada $Q_{k,y}$ (W) kontrol hacminin yan yüzeylerinden, $Q_{k,\ddot{u},a}$ (W) ise kontrol hacminin üst ve alt yüzeylerinden olan ısı kayıplarını göstermektedir [26].

$$Q_k = Q_{k,y} + Q_{k,\ddot{u},a} \quad (2.4)$$

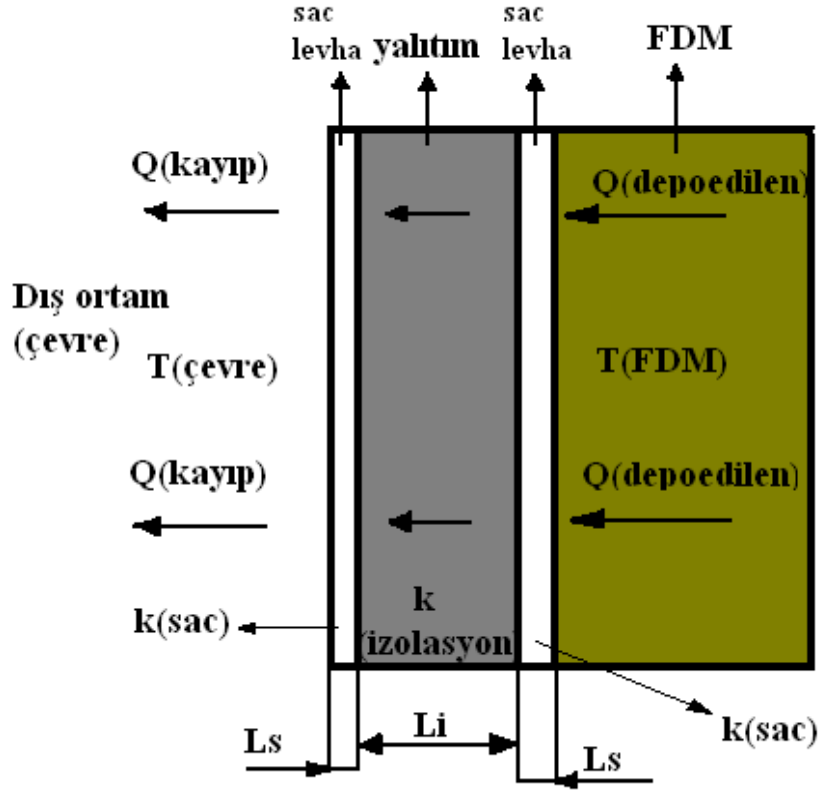
Denklem (2.5)'de, K_y (W/m²K) toplam ısı transfer katsayısını, A_y (m²) ise deponun yan yüzey alanını ifade etmektedir. T_{FDM} (K) FDM sıcaklığını, T_o (K) ise çevre ortam sıcaklığını göstermektedir [26].

$$Q_{k,y} = K_y A_y (T_{FDM} - T_o) \quad (2.5)$$

$$Q_{k,\ddot{u},a} = 2K_{\ddot{u},a} A_{\ddot{u},a} (T_{FDM} - T_o) \quad (2.6)$$

Toplam ısı transfer katsayısı, FDM ile çevre ortam arasında kullanılan malzemelerin boyutları ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Burada, amaç kullanılan malzemelerin boyutları ile doğru orantılı olarak ısı transfer katsayısını belirlemektir. Denklem (2.7)'de, L_i (m) izolasyon kalınlıklarını, L_s (m) sac kalınlıklarını, k_s (W/mK) sac levhanın ısı iletim katsayısını, k_i (W/mK) izolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısını ve h_o (W/m²K) ise çevre ortama taşınılma olan ısı taşınım katsayısını ifade etmektedir.

$$\frac{1}{K_{\ddot{u},a,y}} = \frac{L_s}{k_s} + \frac{L_i}{k_i} + \frac{L_s}{k_s} + \frac{1}{h_o} \quad (2.7)$$



Şekil 2.14. Sıcak su deposunun katmanlarının görünümü.

Sıcak su deposuna ısı verilme aşaması için enerji verimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Denklem (2.8)'de, sisteme ısı verilmesi sürecince sistemde depolanan enerjinin, sisteme giren toplam ısı enerjisine bölünmesi ile elde edilir. Yani, sistemde yararlı ısı miktarının sisteme verilen toplam enerji miktarına bölünmesini ifade etmektedir [26].

$$\eta_{(toplaml)} = \frac{Q_d}{Q_g} \quad (2.8)$$

Denklem (2.9) ise, net enerji verimini ifade etmektedir. Bu eşitlikte sistemi bir bütün olarak düşünerek sistemin çalışması için verilen toplam enerji miktarı ve elde edilen yararlı ısı miktarı, karşılaştırıldığı takdirde sistemin net enerji verimini ifade etmiş oluruz. Burada, P (W) pompa gücünü temsil etmektedir [26].

$$\eta_{(net)} = \frac{Q_d}{Q_g + P} \quad (2.9)$$

Sıcak su deposuna ısı depolama aşaması için ekserji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

Giren ekserji = Depolanan ekserji + Kayıp ekserji

$$E_g = E_d + E_k \quad (2.10)$$

Denklem (2.10), deponun kullanım amacına göre, yani elde edilmek istenilen yararlı ekserji miktarı göz önünde bulundurulduğu zaman, denklem (2.10) tekrardan düzenlendiği zaman aşağıdaki denklem (2.11) yazılır [26].

$$E_d = E_g - E_k \quad (2.11)$$

$$E_g = Q_g - T_o \nu C_p \ln \frac{T_g}{T_\varphi} \quad (2.12)$$

$$E_k = Q_k \left[1 - \frac{T_o}{T_{FDM}} \right] \quad (2.13)$$

Sıcak su deposuna ısı verilme aşaması için ekserji verimi denklem (2.14)'deki gibi tanımlanabilir. Bu eşitlik bize sisteme ısı verilmesi sürecince sistemde depolanan ekserjinin, sisteme verilen ekserjiye bölünmesi ile elde edilir. Yani, sistemde yararlı ekserji miktarının sisteme verilen toplam ekserji miktarına bölünmesini ifade etmektedir [26].

$$\eta_{ex(toplam)} = \frac{E_d}{E_g} \quad (2.14)$$

Denklem (2.15) ise net ekserji verimini ifade etmektedir.

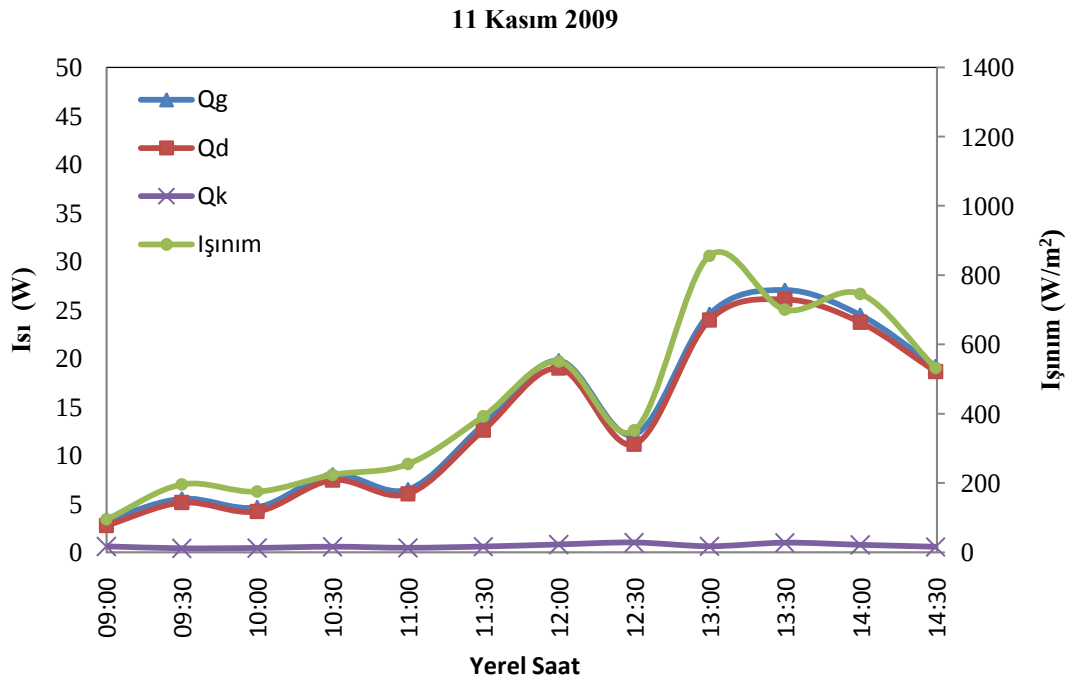
$$\eta_{ex(net)} = \frac{E_d}{E_g + P} \quad (2.15)$$

3. BULGULAR

FDM'lerin kullanımındaki amaç; güneş ışıının düşük olduğu zamanlarda daha verimli ısı depolaması sağlamaktır. FDM'nin ayrıca tüketici tarafından kullanılan suyun ve çevre arasındaki sıcaklık farkını göz önünde bulundurulduğunda bir yalıtım görevi de görmektedir. Isı depolama kapasitesi yüksek olan FDM'nin sisteme ilave edilmesiyle birlikte analiz sonuçlarında kolaylıkla fark edilebilir bir artış söz konusudur. FDM'nin gün içerisinde, güneş ışıınıyla alınan ısıyı duyulur ve gizli ısı olarak depolayarak, sistemin ısı depolama kapasitesini arttırmıştır. Bu kapasite artışı sistemin FDM'siz sistemlerle kıyaslandığında daha verimli olarak sistemin çalışmasını sağlamaktadır. Benzer çalışmalardaki sonuçlar ile kıyaslandığında, kullanılan FDM miktarına göre ve deneyin yapıldığı zaman göz önünde bulundurulduğunda elde edilen sonuçların, buna benzer birçok sistemden daha iyi bir performans gösterdiği açıktır. Genellikle FDM ile yapılan deneyler, daha sıcak aylarda yapılmıştır. Bu deneyin Kasım ayı yapılması, çevre sıcaklığının düşük, güneş ışıının devamlılığının olmamasından dolayı, deney için seçilebilecek en kötü hava şartlarının olduğu zamanlar olarak nitelendirilebilir. Grafiklerin analizleri yapılırken FDM miktarının da göz önünde bulundurulması en önemli parametrelerden biridir. Bu deneyde FDM'li depo içerisine 43 kg FDM bırakılmıştır. Çalışılan, hava şartlarında kontrol hacmine giren ısı, ekserji değerleri ile birlikte kontrol hacminin net enerji ve ekserji verim değerleri aşağıdaki grafiklerde mevcuttur.

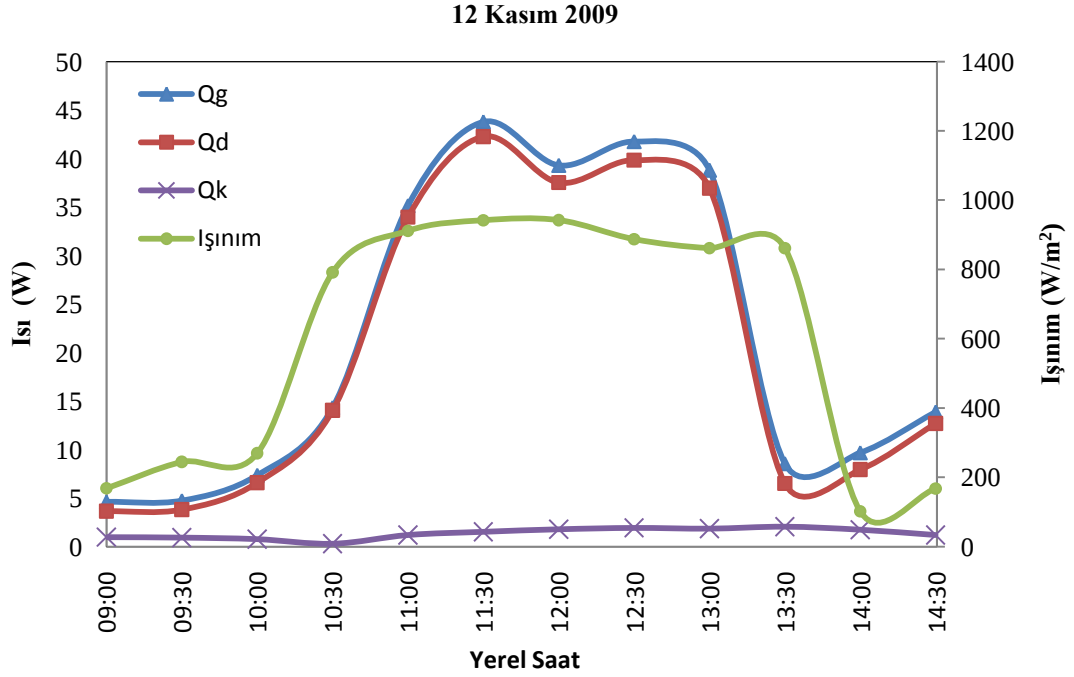
Kontrol hacmi olarak seçilen depoya, şarj periyodu boyunca giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri, ışıınım ile birlikte yerel zamana göre değişimi aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

Şekil 3.1.'de 11 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'siz depo için elde edile giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri, ışıınım değerleri ile birlikte, yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



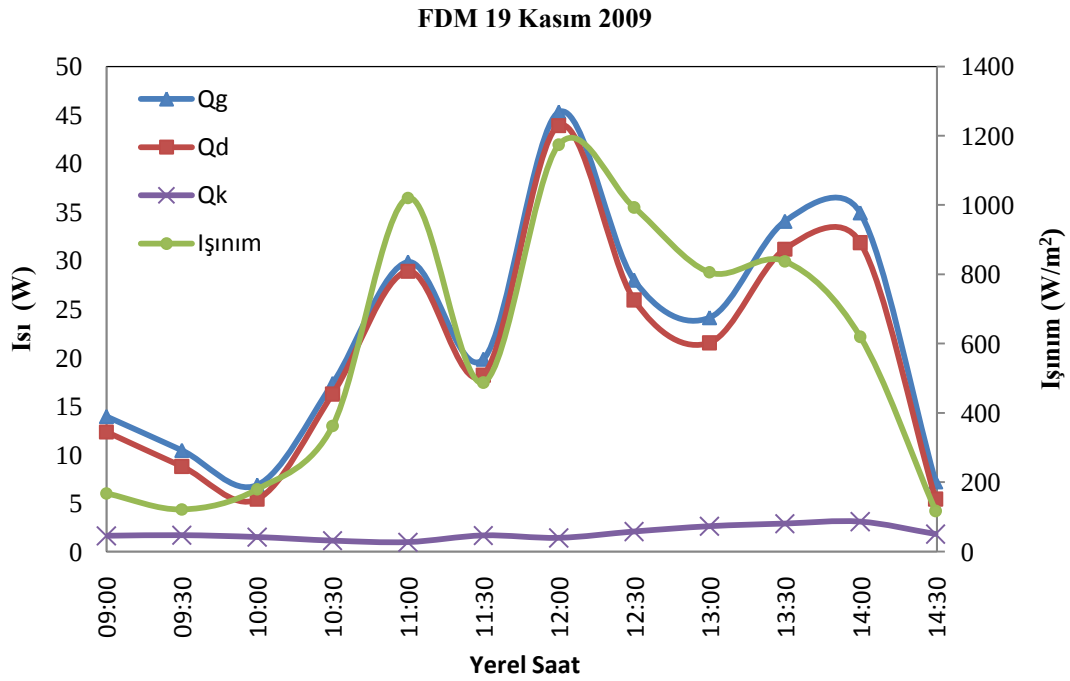
Şekil 3.1. 11 Kasım 2009 günü FDM'siz depoya giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri.

Deneyin yapıldığı 12 Kasım 2009 günün ısıtım değerleri göz önüne alındığı zaman, sistemin 3 saat boyunca verimli bir şekilde güneş ısıtımını aldığı görülebilir. Şekil 3.2.'de 12 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'siz depo için elde edile giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri, ısıtım değerleri ile birlikte, yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



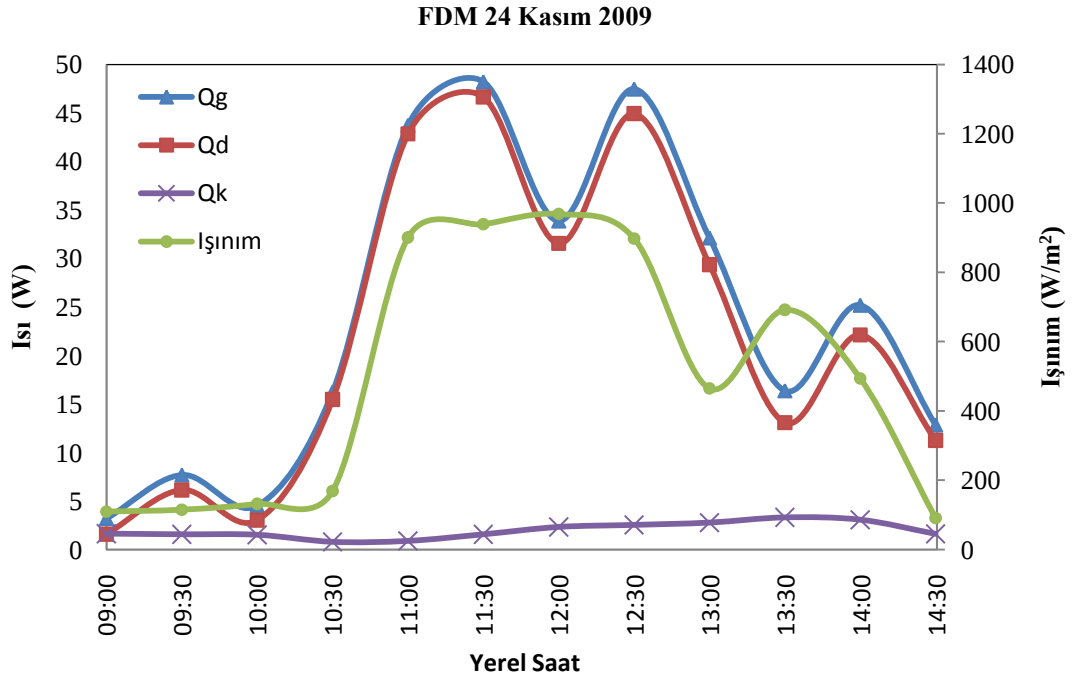
Şekil 3.2. 12 Kasım 2009 günü FDM'siz depoya giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri.

Elde edilen bu grafikten (Şekil 3.3), FDM'siz depo için elde edilen değerlerden daha yüksek verilerin elde edildiği açıktır. Aynı zamanda deneyin yapıldığı günün hava şartlarının 12 Kasım 2009 tarihindeki hava şartlarından daha kötü olduğu ısıtım değerleri dikkate alındığı zaman kolaylıkla anlaşılabilir. Sistemin ortalama 1.5 saat boyunca verimli güneş ısıtımını aldığı görülebilir. Şekil 3.3.'de 19 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'li depo için elde edile giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri, ısıtım değerleri ile birlikte, yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.3. 19 Kasım 2009 günü FDM'li depoya giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri.

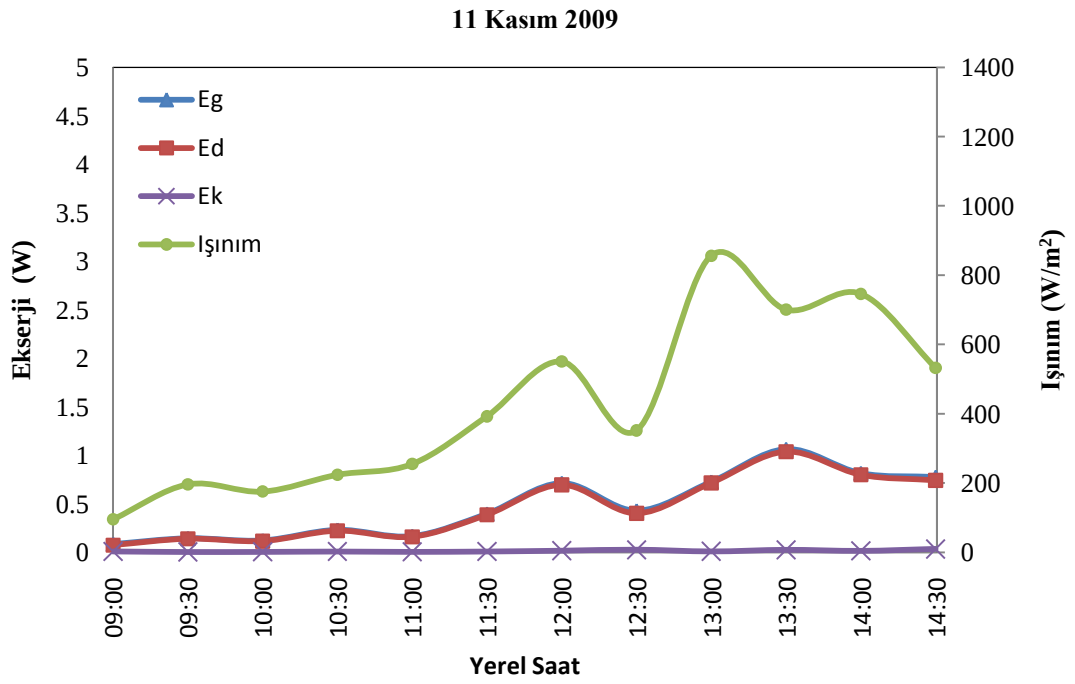
19 Kasım 2009 günündeki hava şartlarının, 24 Kasım 2009 günündeki hava şartlarına benzer olduğu söylenebilir. Sistem, ortalama 1.5 saat boyunca verimli güneş ışıını aldığı görülebilir. FDM'li deponun 24 ve 19 Kasım 2009 günü elde edilen değerlerin, 12 Kasım 2009 günü elde edilen değerlerden daha yüksek olmasının sebebi, kullanılan FDM'nin şarj periyodu boyunca daha fazla ısıyı depoladığından dolayı giren, depolanan ve kayıp ısı değerlerinin yükselmesine neden olmuştur. Şekil 3.4.'de 24 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'li depo için elde edile giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri, ışıınıım değerleri ile birlikte, yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.4. 24 Kasım 2009 günü FDM'li depoya giren, depolanan ve kayıp ısı değerleri.

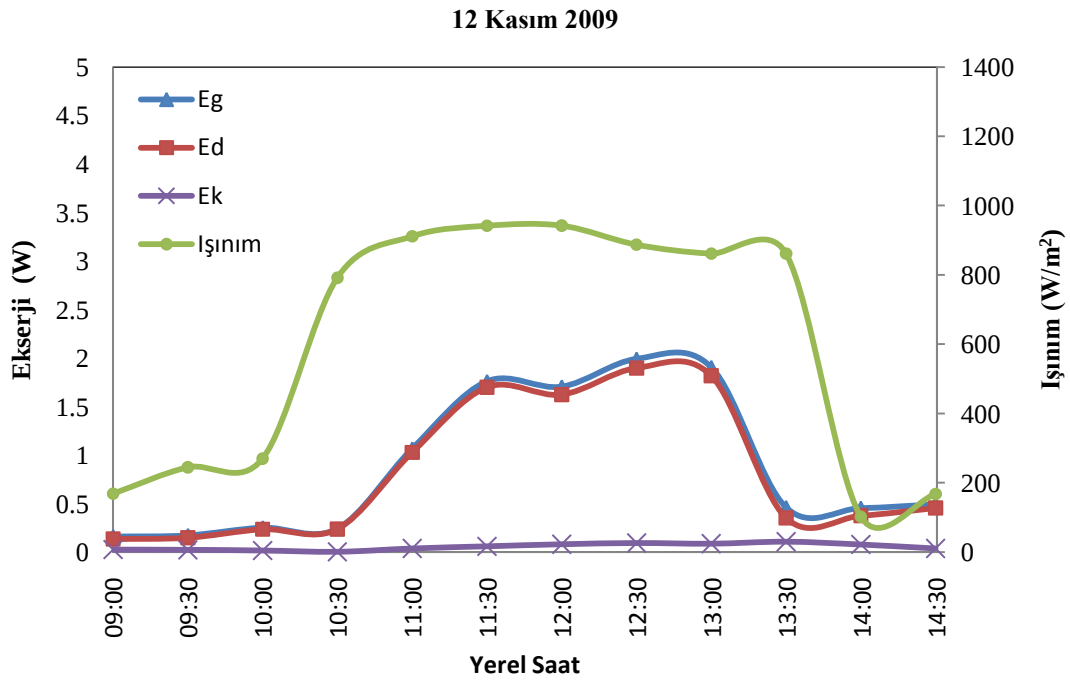
Kontrol hacmi olarak seçilen depoya, şarj periyodu boyunca giren, depolanan ve kayıp ekserji miktarı, ısıtım ile birlikte yerel zamana göre değişimi aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

Şekil 3.5.'de 11 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'siz depo için elde edile giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri, ısıtım değerleri ile birlikte, yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



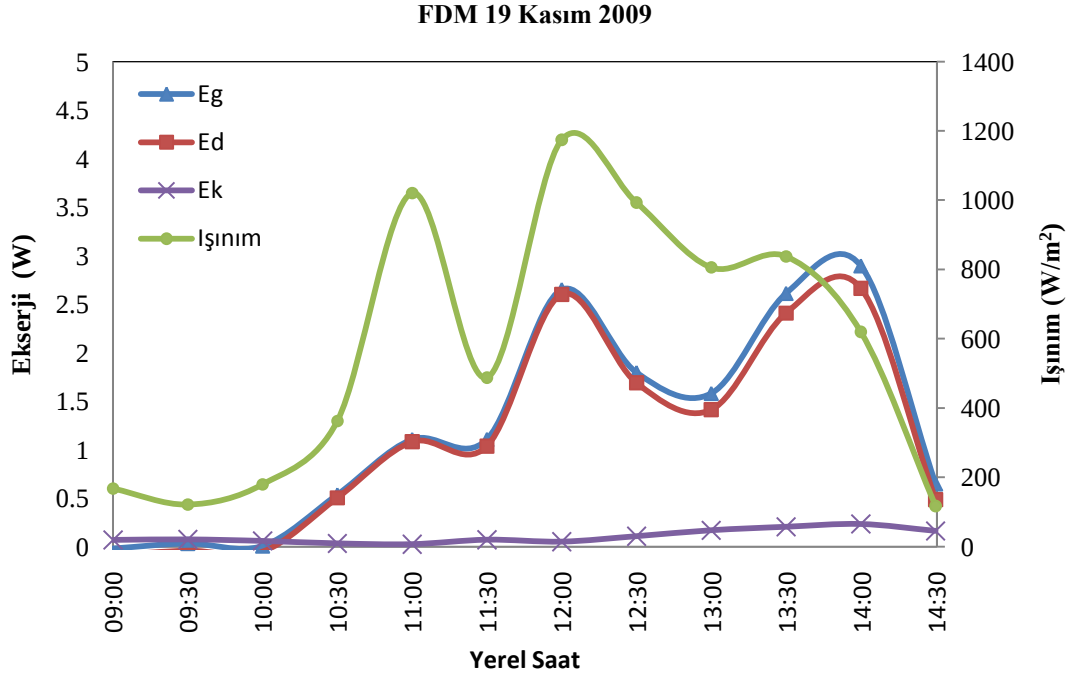
Şekil 3.5. 11 Kasım 2009 günü FDM'siz depoya giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri.

12 Kasım 2009 günü elde edilen verilerin 19 ve 24 Kasım 2009 günü elde edilen değerler ile karşılaştırılması, deponun FDM'li ve FDM'siz olarak daha sağlıklı yorum yapmamıza olanak sağlayacaktır. 11 Kasım 2009 günü ışıının kötü olmasından dolayı sağlıklı bir analiz yapmamızı zorlaştırmaktadır. Şekil 3.6.'da 12 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'siz depo için elde edile giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri, ışıının değerleri ile birlikte, yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



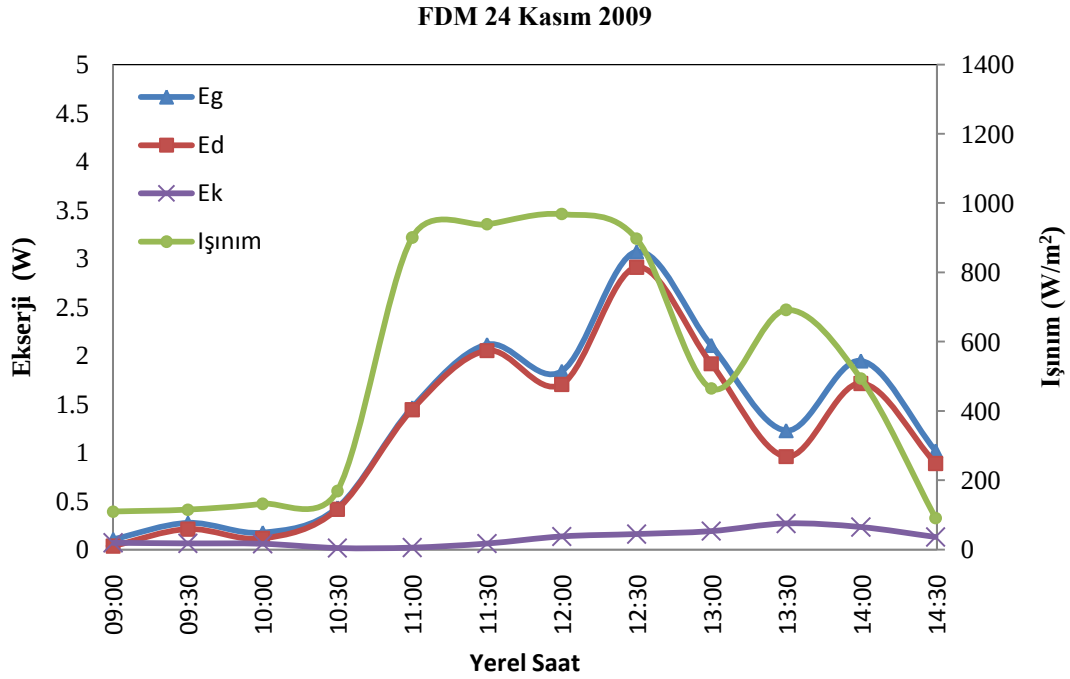
Şekil 3.6. 12 Kasım 2009 günü FDM'siz depoya giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri.

Şekil 3.7.'de 19 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'li depo için elde edile giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri, ışıınım değerleri ile birlikte, yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.7. 19 Kasım 2009 günü FDM'li depoya giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri.

Şekil 3.8.'de 24 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'li depo için elde edile giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri, ısıtım değerleri ile birlikte, yerel zamana göre değişimi görülmektedir.

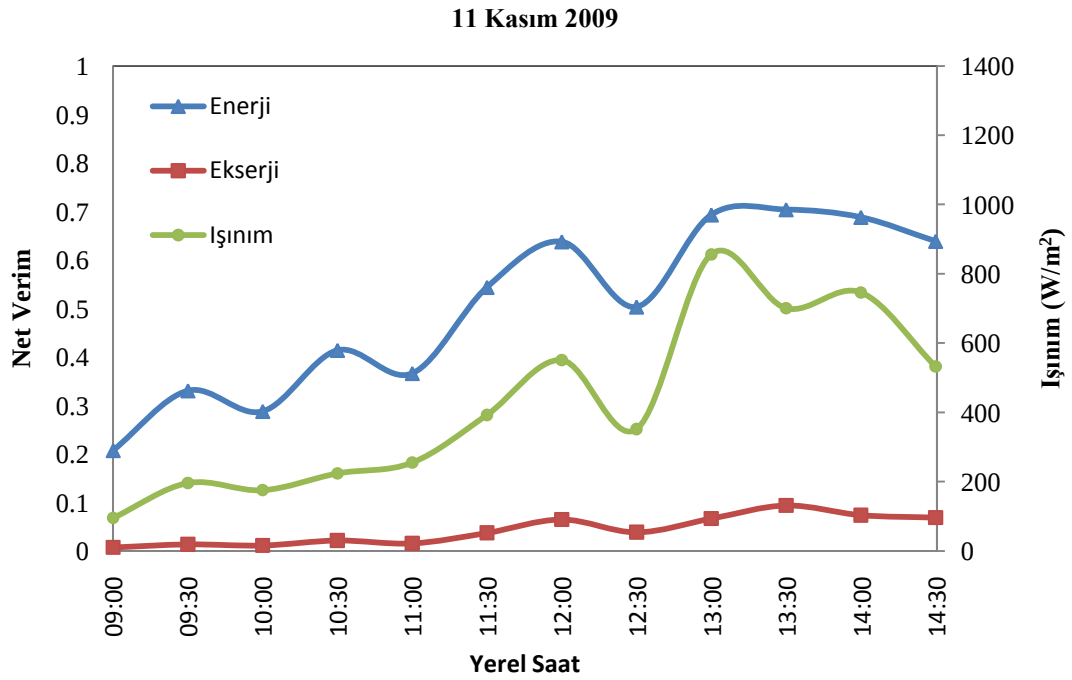


Şekil 3.8. 24 Kasım 2009 günü FDM'li depoya giren, depolanan ve kayıp ekserji değerleri.

12 Kasım günü elde edilen ekserji değerlerini, 19 ve 24 Kasım günü elde edilen ekserji değerleri ile kıyaslandığı zaman, FDM'nin kullanıldığı 19 ve 24 Kasım günü elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu grafiklerden anlaşılabılır. Bu yüksek değerler, FDM'li deponun daha iyi bir performans gösterdiği yorumu yapılabilir.

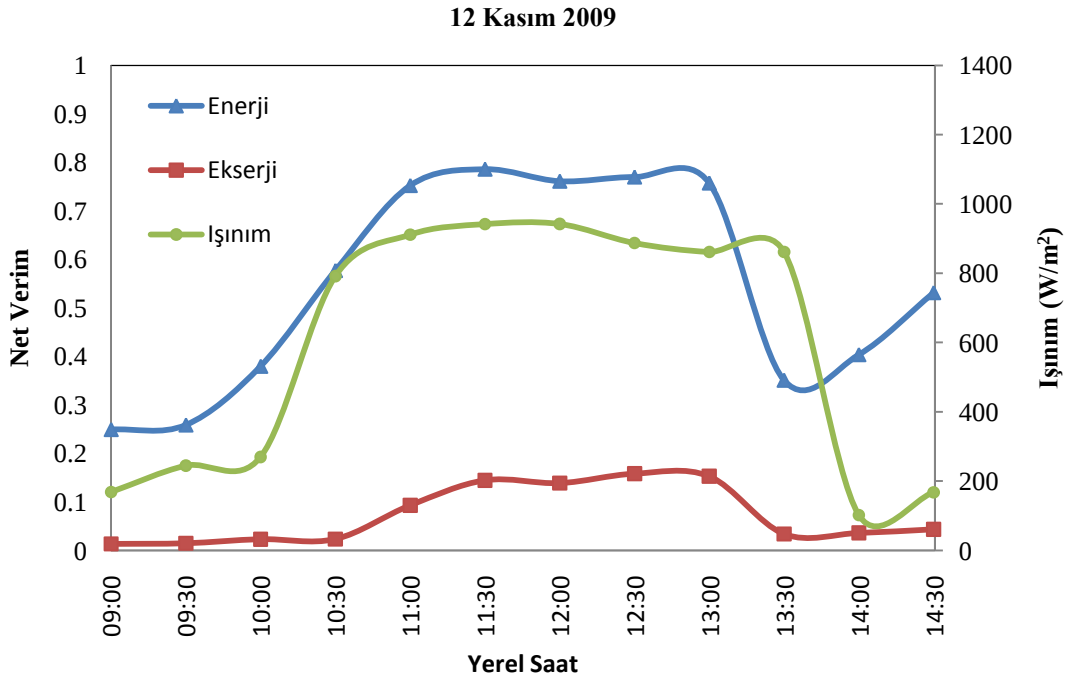
Kontrol hacmi olarak seçilen sıcak su deposunun, şarj periyodu boyunca yapılan analiz sonuçları ise aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Aşağıdaki grafikler, kontrol hacminin net enerji ve ekserji verim değerlerini göstermektedir.

Şekil 3.9.'da 11 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'siz depo için elde edilen net verim-ışınım grafiğinin yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



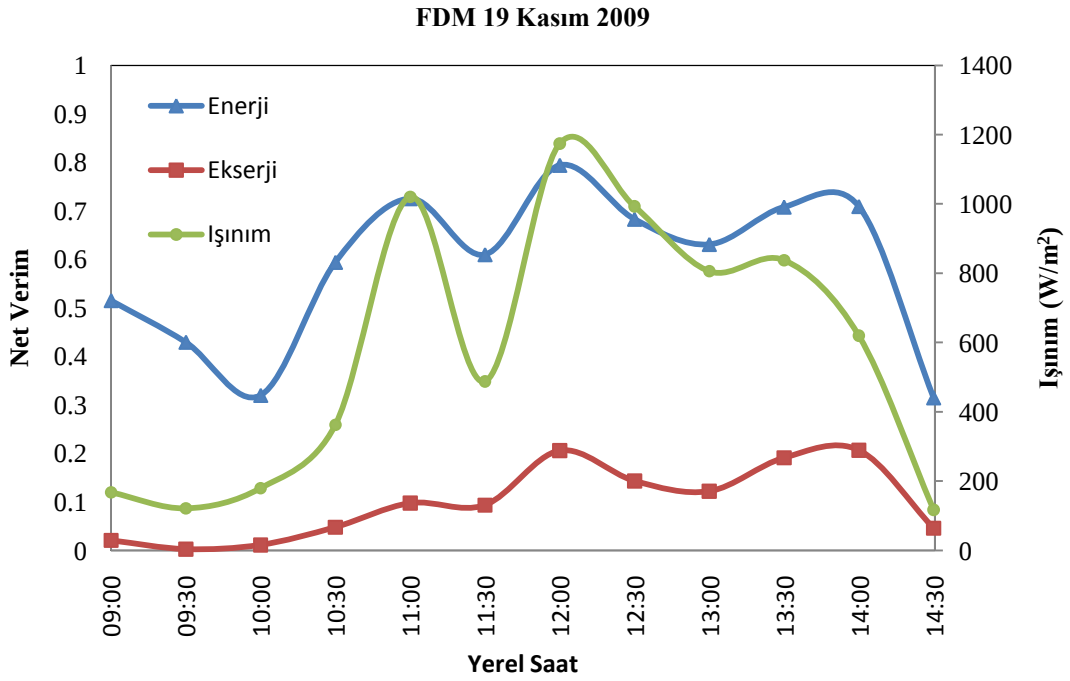
Şekil 3.9. 11 Kasım 2009 FDM'siz deponun enerji, ekserji net verim değerleri.

Şekil 3.10.'da sürekli ısıtım değerlerinin bile FDM'li depo ile kıyaslandığında, bu ısıtım değerlerinde bile ısı depolama kapasitesinin düşük olduğu yorumu yapılabilir. Bunun nedeni ise kontrol hacmi olarak seçilen sıcak su deposunda ısı sadece suda depo edilebilmektedir. Sıvı maddelerde ısı depolaması için daha yüksek ısı değerlerine ulaşılması gerekmektedir. Bu durumda, güneş ısıtımından yeterince yararlanılamaz. Şekil 3.10.'da 12 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'siz depo için elde edilen net verim-ısıtım grafiğinin yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



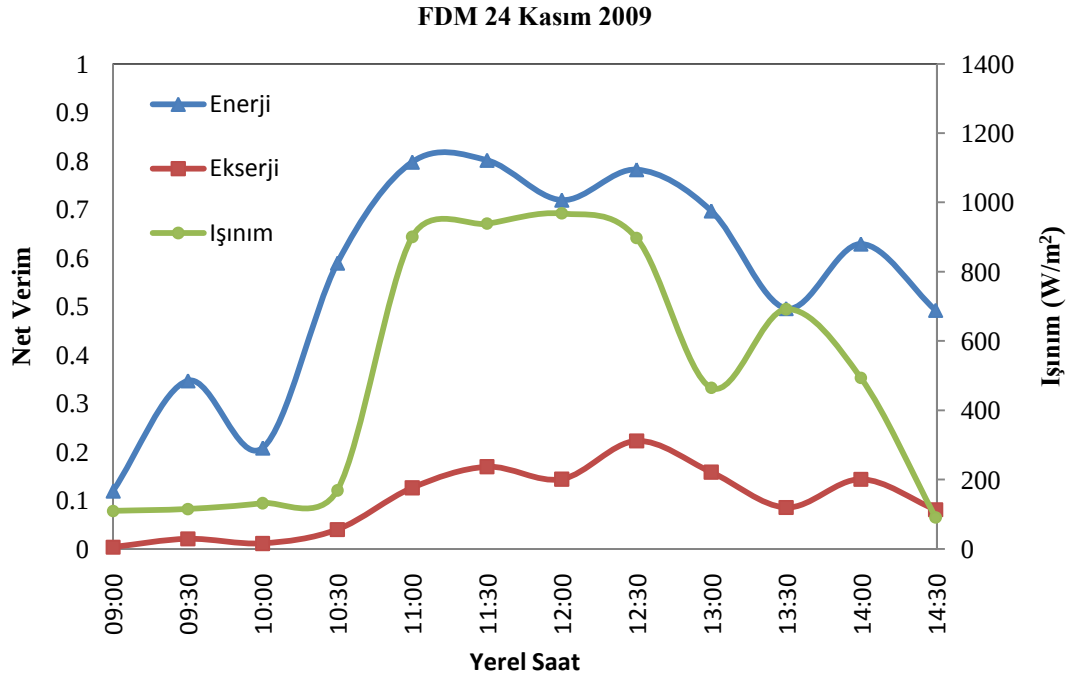
Şekil 3.10. 12 Kasım 2009 FDM'siz deponun enerji, ekserji net verim değerleri.

Çevre sıcaklığının ve güneş ışınımının düşük olduğu Kasım ayında FDM'li sistemin ısı depolama kapasitesinin, FDM'siz sisteme göre Şekil 3.11. ve Şekil 3.12.'de, yapılan analiz sonuçları doğrultusunda daha fazla ısı depolayabildiği görülmektedir. Şekil 3.11.'de 19 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'li depo için elde edilen net verim-ışınım grafiğinin yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.11. 19 Kasım 2009 FDM'li deponun enerji, ekserji net verim değerleri.

Şekil 3.12.'de 24 Kasım 2009 tarihinde ölçülen değerlerle, FDM'li depo için elde edilen net verim-ışınım grafiğinin yerel zamana göre değişimi görülmektedir.



Şekil 3.12. 24 Kasım 2009 FDM'li deponun enerji, ekserji net verim değerleri.

12 Kasım 2009 günü elde edilen ışıınım değęerleri, 24 ve 19 Kasım 2009 günü elde edilen ışıınım değęerleri ile benzerlik göstermektedir. Bu yüzden, bu üç günün net enerji ve ekserji verim analizlerinin karşılaştırılması FDM’li depo ile FDM’siz depo arasındaki farkı daha sağlıklı bir şekilde yorum yapmamıza olanak sağlayacaktır. 12 Kasım 2009 günü en üst ışıınım değęeri 942.091 W/m^2 değęerine ulaşmaktadır. Eğer verimli ışıınım alt sınır değęerimizi 800 W/m^2 seçecek olursak. 12 Kasım günü 800 W/m^2 ışıınım değęerinden fazla olan ışıınım değęerlerini göz önünde bulundurduğumuz zaman. Sistemin 3 saat boyunca verimli bir güneş ışıınımına marus kaldığını grafikten okuyabiliriz. 12 Kasım günü FDM’siz depoda ısı depolama süresi boyunca, sistemin enerji ve ekserji verimlerinin en üst seviyelerinin sırası ile, net enerji 0.78 değęerine, net ekserjinin ise 0.15 değęerine ulaştığı grafiklerden anlaşılabilir. 24 Kasım 2009 günü elde edilen en üst ışıınım değęeri ise 968.27 W/m^2 değęerine ulaşmıştır. Verimli ışıınım değęerimizi 800 W/m^2 olarak tekrardan seçtiğimizde. 24 ve 19 Kasım 2009 günü 800 W/m^2 ışıınım değęerinden fazla olan ışıınım değęerlerini göz önünde bulundurduğumuz takdirde. Sistemin 1.5 saat boyunca verimli bir güneş ışıınımına marus kaldığını grafikten okuyabiliriz. 24 Kasım 2009 FDM’li depoda ısı depolama süresi boyunca, sistemin net enerji ve ekserji verimlerinin en üst seviyeleri sırası ile, net enerji değęerinin 0.80 değęerine, net ekserjinin ise 0.22 değęerine ulaştığı grafiklerden anlaşılabilir. Bu karşılaştırmmanın sonucunu yorumladığımız taktirde. FDM’li deponun daha az bir süre boyunca verimli ışıınım almasına rağmen FDM’siz depodan elde edilen net enerji ve ekserji sonuçlarından daha yüksek net enerji ve ekserji verim değęerleri elde ettiğimizi kolaylıkla görebiliriz. 19 Kasım 2009 günü elde edilen değęerler ile karşılaştırdığımız taktirde yine benzer sonuçların alındığını, grafiklerden kolaylıkla anlaşılabilir. 19 Kasım 2009 günü 800 W/m^2 ışıınım değęerinden yüksek olan ışıınım değęerleri göz önüne alındığı taktirde. 19 Kasım 2009 günü sistemin yine yaklaşık olarak 1.5 saat boyunca verimli bir güneş ışıınımına marus kaldığı grafikten okuyabiliriz. 19 Kasım 2009 FDM’li depoda ısı depolanma süresi boyunca, sistemin net enerji ve ekserji verimlerinin en üst seviyeleri sırası ile, net enerji 0.79 değęerine, net ekserjinin ise 0.20 değęerine ulaştığı grafiklerden anlaşılabilir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Sistemin Kasım ayı gibi soğuk ve güneş ışıının az olduğu zamanlarda yapılması sistemin analizi açısından daha iyi bir yorum yapılabilmesine olanak sağlar. Deneylerin yapıldığı bazı günlerin açık, bazı günlerin ise parçalı-bulutlu olması, grafiklerdeki ışıının değeri göz önünde bulundurulduğunda daha net görülebilmektedir. Havanın açık ve güneş ışıınının iyi olduğu saatler veya günlerdeki enerji ve ekserji verimlerindeki artış kolaylıkla grafiklerden okunmaktadır. FDM'siz deponun havanın açık ve güneş ışıınının yüksek olduğu zaman (12 Kasım 2009) iyi bir performans gösterdiği açıktır. Fakat FDM'li deponun havanın parçalı bulutlu olmasına rağmen FDM'siz depodan daha iyi verim değeri değerlerine sahip olduğu bariz bir şekilde görülmektedir. Bu grafiklerin ışıının değeri değerlerinin en üst sınır değeri değerlerine göre FDM'li ve FDM'siz depoların karşılaştırılması daha iyi bir analiz yapmamıza olanak sağlamaktadır. Sonuçlar, FDM'li deponun FDM'siz depodan daha iyi ısı enerjisi depolayabildiğini kanıtlamıştır. FDM'li deponun enerji ve ekserji verimleri ışıının değeri değerlerinin düşük olduğu zamanlarda FDM'siz deponun yüksek ışıının değeri değerlerine sahip olduğu gündeki (12 Kasım 2009) analiz sonuçlarına benzer hareket etmiştir. FDM'li deponun FDM'siz depodan daha yüksek analiz verilerine sahip olmasının nedeni, FDM'li depodaki FDM'nin daha fazla ısıyı üzerine almasıdır. FDM'li depoda, suda ısının depolanmasıyla birlikte, FDM'nin ısıyı duyulur ve gizli ısı olarak üzerine aldığı için deponun ısı depolama kapasitesini arttırmıştır. Fakat FDM'siz depoda ısının sadece suda depolanmasından dolayı yüksek ışıının değeri değerlerinde bile ısı depolama kapasitesinin düşük olması neticesinde daha az bir ısı depolaması yapmaktadır. Aynı zamanda sıvı maddelerin sıcaklık ile birlikte özgül ısı kapasitelerindeki yükseliş ve ısı iletim katsayısının düşüşünden dolayı, sıvı maddelerin sıcaklığını arttırmak için daha fazla miktarda ısıya ihtiyaç duyulmaktadır. Yani suda duyulur ısı depolanması daha verimsiz olmaktadır. Tasarlanan deponun ve kullanılan FDM'nin amaca uygun hareket etmesi ve FDM'siz depoyla karşılaştırılması, soğuk ve güneş ışıınının az olduğu günlerde güneş enerjisinden daha fazla yararlanabileceğimizi kanıtlamıştır.

5. ÖNERİLER

Sadece faz değişimi sağlayacak bir sistem tasarlanarak kullanılan FDM'nin çevrim sayısının belirlenmesi için bir çalışma yapılabilir. Yapılan analizler sadece şarj periyodu için geçerli olduğundan, kontrol hacminin deşarj periyodu sırasında enerji, ekserji analizi yapılabilir. Bu analiz kontrol hacmine verilen ısıнын tekrar geri kazanılması durumunda hangi verim değerlerine sahip olacağı gözlemlenebilir. FDM'nin şarj ve deşarjı esnasında FDM'nin enerji ve ekserji analizleri yapılabilir. Sistemin FDM'li deponun farklı geometri ve tasarımlardaki sıcak su depolarının, FDM'nin bırakılacağı bir hazne yapılarak, depoların şarj ve deşarj periyotları boyunca enerji, ekserji analizleri yapılabilir. Kullanılan FDM'li sistemin ekonomik analizleri yapılarak, bir yıl içerisinde güneş enerjisi sistemlerinin bahar aylarında, FDM kullanıldığı takdir de, ne kadar enerji tasarrufu sağlayabileceği hesaplanabilir. Çalışma, tasarlanan sıcak su deposunda farklı türdeki (yağ asiti gibi) FDM'lerin karışımı için tekrarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Öztürk, H.**, 2008. Isı Depolama Tekniği, Teknik Yayınevi, Ankara.
- [2] **Hasnian, S.M.**, 1998. Review on sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part I: Heat Storage Materials and Techniques, Energy Conversion and Management, 39; 1127-138.
- [3] **Sharma, S.D., Sagara, K.**, 2005. Latent heat storage materials and systems: a review, Int. Journal of Green Energy, 2; 1-56.
- [4] **Farid, M.M., Husian, R.M.**, 1990. An electrical storage heater using the phase-change method of heat storage, Energy Conversion and Management, 30 (3); 219-30.
- [5] **Ryu, H.W., Woo, S.W., Shin, B.C., Kim, S.D.**, 1992. Prevention of supercooling and stabilization of inorganic salt hydrates as latent heat storage materials, Solar Energy Materials Solar Cells, 27 (2); 161-72.
- [6] **Varol, Y., Koca, A.**, 2002. Isı Depolamada Glauber Tuzunun Etkinliğinin Deneysel ve Sayısal Olarak Araştırılması, 7. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara, 17-18 Temmuz 275-81.
- [7] **Koca, A., Öztop, H.F., Koyun, T., Varol, Y.**, 2008. Energy and exergy analysis of a latent heat storage system with phase change material for a solar collector, Renewable Energy, 33 (4); 567-74.
- [8] **Farid, M., Khalaf, A.N.**, 1994. Performance of direct contact latent heat storage units with two hydrated salts, Solar Energy, 36; 179-89.

- [9] **Sari, A., Kaygusuz, K.,** 2001. Thermal Energy Storage System Using Some Fatty Acids as Latent Heat Energy Storage Materials, *Energy Sources*, 23; 275-85.

- [10] **Rozanna, D., Chuah, T.G., Salmiah, A., Thomas, S.Y.C., Saari, M.,** 2004. Fatty Acids as Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage: A review, *Int. J. Green Energy*, 1 (4); 495-513.

- [11] **Keles, S., Kaygusuz, K., Sari, A.,** 2005. Lauric and myristic acids eutectics mixture as phase change material for low-temperature heating applications, *Int. J. Energy Research*, 29; 857-70.

- [12] **El-Bassuoni, A-M.A., Tayep, A.M., Helwa, N.H., Fathy, A.M.,** 2003. Modification of urea-sodium acetate trihydrate mixture for solar energy storage, *Renewable Energy*, 28; 1629-43.

- [13] **Kaiuchi, H., Yamazaki, M., Yabe, M., Chihara, S.,** 1999. A study of new phase change material; Trimethylolethane Hydrate and its mixtures having phase change temperature between 13°C and 30 °C, *IEA Annex-10 PCMs and Chemical Reactions for Thermal Energy Storage, 4th Workshop*, Benediktbeuern, Germany October 28-29.

- [14] **Rabin, Y., Bar-niv, I., Korin, E., Mikic, B.,** 1995. Integrated solar collector storage system based on a salt-hydrate phase-change material, *Solar Energy*, 55 (6); 435-44.

- [15] **Cabeza, L.F., Ibanez, M., Sole, C., Roca, J., Nogues, M.,** 2006. Experimentation with a water tank including a PCM module, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90; 1273-82.

- [16] **Hasan, A.,** 1994. Phase change material energy storage system employing palmitic acid, *Solar Energy*, 52;143-54.

- [17] **Hawladar, M.N.A., Udin, M.S., Khin, M.M.,** 2003. Microencapsulated PCM thermal-energy storage system, *Applied Energy*, 74; 195-202.
- [18] **Özonur, Y., Mazman, M., Paksoy, H.Ö., Evliya, H.,** 2005. Microencapsulation of coco fatty acid mixture for thermal energy storage with phase change material, *Int. J. Energy Research*, 30; 741-49.
- [19] **Velraj, R., Seeniraj, R.V., Hafner, B., Faber, C., Schwarzer, K.,** 1999. Heat Transfer Enhancement in a Latent Heat Storage System, *Solar Energy*, 65 (3); 171-80.
- [20] **Altuntop, N., Arslan, M., Ozceyhan, V., Kanoglu, M.,** 2005. Effect of obstacle on thermal stratification in hot water storage tanks, *Applied Thermal Engineering*, 25; 2285-298.
- [21] **Koca, A.,** 2001. Gizli ısı enerjisi depolu düzlemsel bir güneş kolektörünün ısı performansının deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] **Nallusamy, N., Sampath, S., Velraj, R.,** 2007. Experimental investigation on a combined sensible and latent heat storage system integrated with constant/varying (solar) heat sources, *Renewable Energy*, 32 (7); 1206-227.
- [23] **Emaes, P.C., Griffiths, P.W.,** 2006. Thermal behaviour of integrated solar collector/storage unit with 65° phase change material, *Energy Conversion and Management*, 47; 3611-18.
- [24] **Saman, W., Bruno, F., Halawa, E.,** 2005. Thermal performance of PCM thermal storage unit for a roof integrated solar heating system, *Solar Energy*, 78; 341-49.
- [25] **Zalba, B., Marin, J.M., Cabeza, F.L., Mehling, H.,** 2004. Free-cooling of buildings with phase change materials, *Int. J. Refrigeration*, 27; 839-49.

- [26] **Öztürk, H.H.**, 2005. Experimental evaluation of energy and exergy efficiency of a seasonal latent heat storage system for greenhouse heating, *Energy Conversion and Management*, 46; 1523-542.
- [27] **Enibe, S.O.**, 2003. Thermal analysis of a natural circulation solar air heater with phase change material energy storage, *Renewable Energy*, 28; 2269-99.
- [28] **Sharma, S.D., Iwata, T., Kitano, H., Sagara, K.**, 2005. Thermal performance of a solar cooker based on an evacuated tube solar collector with a PCM storage unit, *Solar Energy*, 78; 416-26.
- [28] **Altuntop, N., Kilik, Z., Ozceyhan, V., Kincay, O.**, 2006. Effect of water inlet velocity on thermal stratification in a mantled hot water storage tank, *Int. J. Energy Research*, 30; 163-76.
- [29] **Öztop, H.F., Varol, Y., Koca, A., Şekerci. M., Fırat. M.**, 2009. Investigation of thermal properties of eutectic mixture of PCMs using DSC, *17. Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi*, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 24-27 Haziran.

ÖZGEÇMİŞ

Mert GÜRTÜRK, 07 Ocak 1984 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlköğrenimini Elazığ'da yapmıştır. Orta Öğrenimini Elazığ Endüstri Meslek Lisesinin Motor bölümünde gördükten sonra, 2003 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü Otomotiv Öğretmenliği programına kayıt yapmış ve bu bölümden 2007 yılında mezun olmuştur. 2009 yılı Şubat ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında lisansüstü eğitime başlamıştır.