



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OLİVİNLİ BAZALT TAŞININ ISI DEPOLAMA MALZEMESİ OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

MUSTAFA ÖZBULDU

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
ARALIK 2017**



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OLİVİNLİ BAZALT TAŞININ ISI DEPOLAMA MALZEMESİ OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mustafa ÖZBULDU

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
ARALIK 2017**

T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OLİVİNLİ BAZALT TAŞININ ISI DEPOLAMA MALZEMESİ OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

MUSTAFA ÖZBULDU
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARACA danışmanlığında hazırlanan bu tez .././.. tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARACA
Başkan

Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
Üye

Prof. Dr. Yurtsever SOYSAL
Üye

Kod No:

Prof. Dr. Erdal SERTKAYA
Enstitü Müdürü

Bu çalışma MKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 15301

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İMZA
MUSTAFA ÖZBULDU

ÖZET

OLİVİNLİ BAZALT TAŞININ ISI DEPOLAMA MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında en büyük dezavantaj olan süreksizlik sorununa enerjinin depolaması çözüm getirmektedir. Isı enerjisinin depolanması ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerjinin daha etkin ve verimli kullanılmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, duyulur ısı depolama yönteminde depolama materyali olarak bazalt taşının kullanılabilirliği ve ısı depolama verimliliğine ısı taşıyıcı akışkanın debisinin etkisi araştırılmıştır. Denemeler üç farklı debide gerçekleştirilmiştir ve her bir debi miktarı için üçer günlük on dakika aralıklarla ölçümler alınmıştır. Analiz sonuçların da 15 L/dk debide suya aktarılan ısıнын ortalama 660,5 W olduğu görülmüştür. Buna karşılık 30 ve 45 L/dk debilerde akışkanın aktardığı ısı miktarının ortalamasının sırasıyla 2339,9 ve 2626,3 W olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar giriş sıcaklığındaki artışın akışkanın aktardığı ısı miktarında bir artışa neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Giriş sıcaklığı ve debi bağımsız değişkenleri ile akışkanın aktardığı ısı miktarı bağımlı değişkeni arasında matematiksel ilişkinin belirlenmesi amacıyla çoklu lineer regresyon modeli oluşturulmuştur ve oluşturulan model ile hesaplanan ısı aktarım değerleri doğrusal bulunmuştur. Su akış debisinin artışı ile ısı depolama materyalinin depoladığı ısı miktarının azaldığı görülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucunda 15, 30 ve 45 L/dk olarak ayarlanmış su akış debileri için ısı depolama etkinliği sırasıyla; %43,1, %9,5 ve %6,5 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre buna benzer ısı depolama sistemlerinde su akış debisinin mümkün olduğu kadar düşük tutulmasının ısı depolama etkinliğini artıracığı sonucuna varılmıştır.

2017, 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Duyulur ısı depolama, bazalt taşı

ABSTRACT

THE RESEARCH OF THE USABILITY OF THE BASALT STONE AS HEAT STORAGE MATERIAL

Energy storage is the solution to the problem of discontinuity which is the biggest disadvantage of using renewable energy resources. Storage of heat energy has enabled more efficient and effective use of energy in heating and cooling systems. In this study, the availability of basalt stone as storage material in sensible heat storage method and effect of heat transfer fluid flow rate were investigated. The experiments were carried out at three different flow rates and measurements were taken at intervals of ten minutes for three days for each flow rate. Analytical results also show that the heat transfer to the water at 15 L / min is 660.5 W on average. On the other hand, it was determined that the average amount of heat transferred by the fluid at 30 and 45 L / min is 2339,9 and 2626,3 W, respectively. These results revealed that the increase in the intake temperature caused an increase in the amount of heat transferred by the fluid. Multiple linear regression model was created to determine the mathematical relationship between the inlet temperature and flow independent variables and fluid heat transfer dependent variable and heat transfer values calculated by the generated model are found linear. It is seen that the amount of heat stored by the heat storage material decreases with the increase of the water flow rate. As a result of the calculations made, the heat storage efficiency for the water flow adjusted at 15, 30 and 45 L / min was found 43,1%, 9,5% and 6,5% respectively. According to these results, it is concluded that the water flow rate as low as possible in such as heat storage systems will increase the efficiency of the heat storage.

2017, 55 pages

Keywords: Sensible Heat Storage, Basalt Stone

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARACA'ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Oktay ÖZBULDU ve annem Birgül ÖZBULDU'YA, her koşulda beni destekleyen ve yardımını esirgemeyen nişanlım Neslihan ŞİMŞEK ve değerli arkadaşım Mustafa AKKAMIŞ'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmaları sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan MKÜ Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, maddi destek veren MKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna (Proje No: 15301) ve isimlerini burada zikredemediğim ama yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Isı Depolama Materyali	18
3.1.2. Isı Depolama Sistemi	19
3.1.3. Isı Toplama Ünitesi.....	20
3.1.4. Isı Depolama Ünitesi	21
3.1.5. Isı Taşıma Ünitesi	22
3.1.6. Veri Kaydedici (Data- Logger) ve Sıcaklık Algılayıcı	22
3.1.7. Debi Ölçüm Cihazı	23
3.1.8. Sirkülasyon Pompası.....	23
3.2. Yöntem	24
3.2.1. Sıcaklık Ölçümü	24
3.2.2. Debi Ölçümü.....	25
3.2.3. Akışkanın Aktardığı Isı Miktarının Hesaplanması	25
3.2.4. Isı Depolama Materyalinin Depoladığı Isı Miktarı.....	25
3.2.5. Isı Depolama Etkinliğinin Hesaplanması	26
3.2.6. Hacimsel Isı Kapasitesi.....	26
3.2.7. Verilerin İstatistiksel Analizi	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	28
4.1. Farklı Su Akış Debilerinde Yapılan Ölçümler	28
4.2. Verilerin İstatistiksel Analizi.....	32
4.3. Isı Depolama Miktarı ve Etkinliği	35
4.4. Hacimsel Isı Kapasitesi	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Faz değıştirme materyali ve taş dolgulu yatak içeren gizli ve duyulur ısı depolama sistemi	14
Şekil 2.2. 530 ° C giriş sıcaklığı için dolgulu yatakta farklı boyutlarda ki bazalt taşlarının sıcaklık davranışı	16
Şekil 3.1. Çalışmada ısı depolama materyali olarak kullanılan bazalt taşı	18
Şekil 3.2. Sistemin Şematik Gösterimi	19
Şekil 3.5. Düzlemsel güneş kolektörü.....	20
Şekil 3.6. Isı depolama ünitesi	21
Şekil 3.7. Isı Depolama Ortamı.....	21
Şekil 3.8. Oluklu PE boru	22
Şekil 3.9. Veri kaydedici (Data-Logger) ve sıcaklık algılayıcı.....	23
Şekil 3.10. Debi Ölçüm Cihazı	23
Şekil 3.11. Sirkülasyon Pompası.....	24
Şekil 3.12. Isı depolama sisteminde yapılacak olan ölçüm noktaları	24
Şekil 4.1. 15 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler.....	29
Şekil 4.2. 30 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler.....	30
Şekil 4.3. 45 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler.....	32
Şekil 4.4. Model ve hesaplanan ısı aktarım değerleri arasındaki saçılım grafiğı.....	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Su akış debisi ve aktarılan ısı arasındaki varyans analiz sonuçları ...	33
Çizelge 4.2. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	33
Çizelge 4.3. Debi, giriş sıcaklığı ve aktarılan ısı arasındaki korelasyon analizi ...	34
Çizelge 4.4. Regresyon analizi sonuçları.....	34
Çizelge 4.5. Bazı materyallerin hacimsel ısı kapasitesi	38



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$\hat{Q}$	: Akışkanın aktardığı ısı miktarının model değeri (W)
T_i	: Su giriş sıcaklığı (°C)
$\dot{V}$	: Su giriş debisi (L/dk)
η	: Isı Depolama Etkinliği (%)
$Q_{\text{taş}}$	: Depolanan Isı Miktarı (kJ)
Q_{su}	: Suyun Aktardığı Isı Miktarı (kJ)
m	: Bazalt taşının kütlesi (kg)
$C_{\text{taş}}$	: Bazalt taşının özgül ısısı (0,84 kJ/kg °C)
T_{max}	: Depo içi en yüksek sıcaklık (°C)
T_{min}	: Depo içi en düşük sıcaklık (°C)
$\dot{m}$	: Kütlesel debi (kg/s)
C_{su}	: Suyun özgül ısısı (4,18 kJ/kg °C)
T_o	: Isı depolama sisteminden çıkan suyun sıcaklığı (°C)

KISALTMALAR

IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.

1. GİRİŞ

Dünyada bulunan mevcut fosil enerji kaynakları bilindiği üzere gün geçtikçe azalmaktadır. Buna karşın son yıllarda hızlı bir şekilde artan dünya nüfusu, şehirleşme ve sanayileşme enerji tüketiminin ve talebinin artmasına neden olmaktadır. Bu talep artışının sonucunda da fosil yakıtların ağırlıklı olarak kullanıldığı ülkelerde enerji bir yandan üretimde kullanılırken diğer yandan yaşanılabilir alanları tahrip etmesine neden olmuştur. (Didinmez, 2013).

Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) tahminlerine göre 2008-2030 yılları arasında dünya enerji talebindeki ortalama yıllık artışının %1,6 olacağı öngörülmektedir. Bu dönem sonunda, 2030 yılı itibarıyla toplam enerji talebi artışının ise %45'e ulaşması beklenmektedir (Kum, 2009). Enerji Bilgi İdaresi'ne göre ise toplam enerji tüketimi ABD gibi ülkelerde 1949 yılında 9,6 trilyon kWh iken 2011 yılından sonra enerji tüketiminin yaklaşık 3 kat artıp 28,5 kWh'e yükseldiği bildirilmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı, 2010-2035 yılları arasında enerji talebindeki artışın %93'ünün gelişmiş ülkelere kaynaklanacağını ve bunun da 30 trilyon dolarlık bir bütçe anlamına geldiğini ifade etmektedir (Özer, 2016).

Günümüzde enerji sistemleri genel olarak fosil enerji kaynaklarının kullanımı üzerine kurulmuş olup gün geçtikçe tüketim miktarı artan talebe bağlı olarak hızla artmaktadır. Fosil yakıt (kömür, petrol, doğalgaz vb.) tüketimindeki bu artış, dünyamızın geleceğini şimdiden tehdit eder duruma getirmiştir. Günümüzde fosil yakıtları genellikle geleneksel yöntemlerle kullanan sanayi üretim tesislerinin, motorlu taşıtların ve konutlardaki ısıtma faaliyetlerinin sonucunda yüksek düzeylerde sera gazı (CO_2 , CH_4 , N_2O) ortaya çıkmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı, sera gazlarının hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevreye ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkilere neden olduğunu açıklamıştır. Ayrıca atmosferde bulunan sera gazlarının %99,5'inin fosil yakıt kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir (Özer, 2016). Fosil yakıt kaynaklarının kullanımından dolayı, dünyanın doğal kaynaklarının üçte birinin, ormanların %12'sinin, okyanuslardaki biyolojik çeşitliliğin üçte birinin; tatlı sularının ise %50'sinin yok edildiği tahmin edilmektedir (Kum, 2009).

CO_2 emisyonu 1990 yılında 20,9 Gt (Gigaton) iken 2007 yılında 28,8 Gt 'a yükselmiş olup yıllık %1,5 artış oranı ile 2020 yılında 34,5 Gt'ye yükseleceği, 2030

yılında ise 40,2 Gt'ye yükseleceği tahmin edilmektedir (Li, 2016). Bunun yanında gelişmekte olan ülkelerin gelecek 20 yılda yapacakları enerji üretimi sebebiyle ortaya çıkacak sera gazlarının, %50 civarında artması beklenmektedir (Özer, 2016). Ayrıca atmosferde 2009 yılında ölçülen CO₂ oranı hacimsel olarak 387 ppm olarak belirlenmiştir (Yılmazoğlu, 2010). Fosil yakıtların sera gazlarının emisyon şiddetlerinin arttırması dışında asit yağmuruna sebep olması, sera etkisini arttırması, uçucu organik bileşikler ve radyoaktif maddeler açığa çıkarması ve ozon tabakasına zarar vermesi gibi olumsuz sonuçları da kullanımları sırasında meydana getirmektedir (Yılmaz, 2005).

Bu olumsuzlukların farkında olan uluslararası kuruluşlar birçok çalışma gerçekleştirmişlerdir. Ülkemizin de dâhil olduğu Kyoto Protokolü de bu çalışmalardan bir tanesi olup sera gazı emisyonlarının azaltılması en önemli hedef olarak ortaya konulmuş ve çevresel zararları önlemek amacıyla birçok ülkede yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretimi konusunda çalışmalar yapılmıştır (Paksoy ve ark., 2009).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının %20'sinin 2050 yılına kadar ABD'de üretilmesinin, arazi alanının %3'ünden daha azına ihtiyaç duyacağı ve yıllık olarak sera gazı emisyonlarını %82'ye kadar azaltılabileceği yönünde tahminler bulunmaktadır (Squalli, 2017). Çin rüzgâr ve hidrolik enerjisi aracılığıyla günümüzde elektrik üretimi konusunda lider ülkelerdendir. Çin, 2020 yılı itibariyle enerji ihtiyacının %15'ini, 2030 yılı itibariyle de %20'sini temiz enerji kaynaklarından karşılayacağını taahhüt etmektedir. Bu da Çin'in, 2005 yılı verilerine göre CO₂ emisyonunu %60-65 civarı azaltması anlamına gelmektedir. Almanya, fotovoltaik paneller aracılığı ile güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda ilk sıradadır. Almanya, 2022 yılına kadar tüm nükleer santrallerini kapatmayı ve 2050 yılı itibariyle de ürettiği enerjinin %80'ini yenilenebilir enerji kaynaklardan elde etmeyi planlamaktadır (Özer, 2016).

Japonya, güneş pilinden elde etmeyi planladığı enerjiyi 2020 yılında 14 GW'a, 2030 yılında ise 53 GW'a çıkarmayı hedeflemektedir. Fransa ise 2020 yılına kadar güneş pilinden elde ettiği enerjiyi 4,9 GW'a çıkarmayı planlamaktadır. Kenya 2025 yılı itibariyle rüzgâr ve biyokütle yoluyla 350 MW'lık enerji elde etmeyi beklemektedir. Endonezya da 2025 yılına kadar jeotermal enerji yoluyla 9,5 GW'lık bir kapasiteye ulaşma hedefine sahiptir. Avustralya yenilenebilir kaynaklardan elde edeceği elektrik enerjisi miktarını 2020 yılına kadar 45 Terra Watt/saat (TWh) olarak belirlemiştir

(Kum, 2009).

Araştırmalara göre 2015 yılında yenilenebilir enerjinin dünya enerji üretimindeki payı %10,3 olmuştur. Bu da yaklaşık 1,5 gigaton CO₂ salınımının engellendiği anlamına gelmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından yıllık olarak hazırlanan “Yenilenebilir Enerji Yatırımlarında Küresel Trendler 2016” raporuna göre 2015 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar yaklaşık 266 milyar dolar civarındadır. Yine 2015 yılında fosil yakıtlardan enerji üretmek üzere yapılan yatırımlar 130 milyar dolar civarındadır. Buna göre, 2015 yılı için dünyada yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar fosil yakıtlarla enerji üretmeyi amaçlayan yatırımların iki katından fazladır. Bu durum, enerji üretiminde yapısal bir değişime gidildiğini göstermektedir. Dünyada yenilenebilir enerjiye yapılan bu yatırımlar neticesinde 2015 yılında 134 GW’lık yeni enerji üretimi sağlanmıştır (Özer, 2016).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının çevre ile dost olmasının dışında bu kaynakları kullanma teknolojisine ve bilgisine sahip olan ülkelerin dışa bağımlılığı azalmıştır. Özellikle ülkemiz gibi enerji ihtiyacı gittikçe artan, ancak yerli kaynakları bu ihtiyacı karşılayamayacak olan ülkelerde enerjinin ithal edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden enerjinin ekonomik kullanımı çok önemlidir. Bu sorun ülkemizi gün geçtikçe daha fazla dışa bağımlı hale getirmektedir. Bu dışa bağımlılık ileride ki yıllarda Türkiye’yi siyasi ve ekonomik bakımdan sıkıntılı bir duruma sokacaktır. Ülkemizin kişi başına yaptığı enerji tüketimi 2010 yılında ki enerji raporuna göre, 2700 kWh/ kişidir. Yüksek oranlı büyümenin süreklilik kazanmış olması ve sanayileşmeyle birlikte artan enerji talebi kişi başına düşen enerji tüketiminin artmasına yol açmıştır. 1970-2006 yılları arasındaki dönemde Türkiye’de nüfusun %106 oranında artmasıyla beraber buna bağlı olarak kişi başına düşen enerji tüketimi de %148 oranında artmıştır. 2010 yılında Türkiye’de gayri safi yurt içi hâsılının (GSYİH) her 1000 ABD (Amerika Birleşik Devletleri) Doları için 0.26 ton eş değer petrol enerjiye ihtiyaç duyulmuştur (Didinmez, 2013).

Bu nedenlerden dolayı fosil kaynaklar bakımından fakir olan ülkemizde gün geçtikçe artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek, daha az enerji ithal etmek ve çevre ile dost enerji üretebilmek için son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yoğun ilgi gören bir konu haline gelmiş ve bu kaynaklara yapılan yatırımlar artmıştır. Türkiye’nin son yıllardaki yenilenebilir kurulu güç verilerine bakıldığında yapılan

yatırımlarla birlikte, 2010 sonu itibariyle toplam yenilenebilir kurulu gücün hidrolik hariç 1511 MW olduğu, 2015 yılı sonunda ise bu rakamın 5 bin 716 MW'a yükseldiği görülmektedir. TEİAŞ verilerine göre, 2016 yılı Nisan ayı itibariyle ise Türkiye'nin yenilenebilir kurulu gücü 6 bin 294 MW'ı buldu. Böylece bu alandaki kurulu güç son beş yılda yaklaşık olarak 4,2 katına çıkmış oldu. Öte yandan 2015'te Türkiye'deki yenilenebilir santral sayısı 574 iken 2016 yılının ilk dört ayı sonunda ise tesis sayısı 829'a çıkmıştır (Yılmaz, 2016). Kasım 2015 yılında hazırlanan Onuncu Kalkınma Planı ile ülkemiz 2018 yılı itibariyle yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payını %29'a yükseltmeyi hedeflemektedir (Özer, 2016). Ülkemiz yapılan yatırımlar ve teşvikler sayesinde 2015 yılsonu itibariyle kurulu yenilenebilir enerji kapasitesiyle dünyada 20'nci sırada bulunuyor. 2010 yılında aynı alanda 26'ncı sıradaydık (Yılmaz, 2016).

1.1. Isı Depolama Yöntemleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından uygulamada en çok yararlanılan enerji türü olan güneş enerjisi, geleneksel fosil yakıtlara yönelik en umut verici alternatif enerji seçeneklerinden biri olmasına rağmen enerji kaynağı olarak uygulamalarda kullanılmasındaki en önemli problem enerji kaynağının süreksiz olmasıdır. Güneşli günlerde toplanan güneş enerjisi genellikle acil talebi karşılamak için gereken enerjiden fazladır ve bulutlu günlerde ise yetersizdir (Boonsu ve ark., 2016). Bu durum da yenilenebilir enerji kaynaklarından yüksek miktarda yararlanamamıza sebep olur. Bu yüzden güneş enerjisi sistemleri, enerji girişinin az olduğu gece ve bulutlu günlerde enerji sağlamak için etkin ve ekonomik enerji depolama sistemlerinin araştırılması ve geliştirilmesi çok önemlidir (Dinçer ve Rosen, 2002). Mevcut durum, enerjinin mümkün olan en verimli şekilde kullanılması zorunluluğunu getirmiş ve enerji depolama yöntemleri konusundaki çalışmaları hızlandırmıştır. Enerjinin depolanabilmesi için birçok yöntem bulunmasına rağmen, uygulamadaki kolaylığından dolayı, bir dönüşüm ya da çevrimle elde edilen ısı enerjisini depolama yaygın olarak kullanılan bir enerji depolama yöntemidir (Kozak ve ark., 2012). Isı enerjisi bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır ve atomik dönme, öteleme ve titreşim hareketi sonucu oluşur (Yılmazoğlu, 2010).

Enerji tasarrufu ve verimliliğinin artırılması, yeni enerji kaynaklarını kullanmaktan daha ekonomiktir. Isı enerjisi depolama sistemleri ile birlikte fosil

yakıtların kullanımını azaltıp, enerji verimliliğini artırarak dünyada artan enerji talebine alternatif çözümler getirilir.

Isı enerjisi depolanması ise, yüksek veya düşük sıcaklıklarda ısı enerjisinin geçici olarak depolanması olarak ifade edilebilir. Isı Enerjisi Depolama sistemlerinin temelinde depolama sistemine enerji sağlanması, elde edilen enerjinin depolanması ve depolanan bu enerjinin talep edilen zamanlarda kullanılması prensibi yatmaktadır. Bu kısaca; yükleme, depolama, geri kazanma olarak özetlenebilecek bir süreçtir.

Isı enerjisi depolama, enerjinin elde edilmesiyle kullanımı arasındaki yer ve zaman farkını kapatarak ısıtma ve soğutma sistemlerinde, enerjinin daha etkin ve verimli kullanımını sağlayarak önemli ölçüde enerji tasarrufu gerçekleştirmektedir. Bunun dışında ısı enerjisi depolama sistemlerinin kullanılmasıyla fosil yakıtların daha az kullanılmasını ve ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbonlara (CFC) ihtiyaç olmadan çevre dostu iklimlendirme tekniklerini geliştirme fırsatı sunmaktadır.

Uygun bir ısı enerjisi depolama sisteminin seçimi, depolama süresi (mevsimlik veya günlük), ekonomik uygulanabilirlik ve işletme koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır. Herhangi bir uygulama için, düşük sıcaklıkta kısa (günlük) veya uzun süre (mevsimsel) için ısı depolanabilir. Mevsimsel depolama ile hedeflenen, yazın sıcaklığını depolayıp kışın kullanmak veya kışın soğukunu depolayıp yazın kullanmaktır. Günlük ısı depolama ise güneş enerjisi yoğunluğu ve gereksinim duyulan enerji miktarı arasındaki farkın az olması durumunda uygulanmaktadır. Isı depolama amacıyla kullanılan ısı toplama ünitesinin boyutları ve tüketilen enerji miktarı dikkate alınarak, enerjinin en düşük maliyetle sağlandığı süre belirlenir. Enerjinin en düşük maliyetle sağlandığı süreye bağlı olarak, günlük veya mevsimsel süreli ısı depolamaya karar verilir.

Ekonomik olarak uygulanabilir bir sistemde, ısı depolama maliyeti düşük olmalıdır. Bundan dolayı, ısı depolamak için kullanılan materyalin maliyetinin düşük ve kolay elde edilebilir olması dışında, depo ve ısı değiştirici maliyetlerinin de kabul edilebilir değerlerde olmasıyla sağlanır. Depolama sisteminin kapasitesi belirlenirken; güneş ışıınım enerjisi, gerekli ısı miktarı ve depolama için tüketilecek enerji miktarı gibi parametreler göz önüne alınmalıdır.

Ayrıca depolama sisteminin üretimi, dağıtımı, kurulumu veya çalışması sırasında çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek zehirli veya tehlikeli olan materyallerin

kullanılmaması gerekir. Bu kriterlerin doğru belirlenmesi, ısı depolama sistemlerinin etkin ve verimli kullanılabilmesi için gereklidir.

Bir ısı depolama sisteminde bulunması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralamıştır (Yılmaz, 2005);

- Isı depolama materyalinin birim kütle veya hacmi için ısı depolama kapasitesi yüksek olmalıdır.
- Isı depolama materyali çalışma sıcaklığı aralığında uygun özelliklere sahip olmalıdır.
- Sistemde depolanan ısı bütünüyle geri kazanılabilmelidir.
- Isı depolama ve geri kazanma etkinliğinde azalma olmaksızın, çok sayıda depolama ve geri kazanma çevrimi gerçekleştirilebilmelidir.
- Isı depolama materyali korozyif, toksik etkili ve yanıcı özellikte olmamalıdır.
- Sistem ucuz ve kullanım süresi uzun olmalıdır.

Isı depolama teknikleri, duyulur ısı, faz değiştiren maddelerin ergime ısısı (FDM&PCM) şeklinde depolanabilir. Gizli ısı depolamasında, faz değişimi gösteren maddeler kullanılır. Depolamaya uygun sıcaklık aralığında depolama maddesinin faz değiştirmesiyle ortaya çıkan gizli ısı belirlenir. Bu amaçla belirli sıcaklıklarda ergime, buharlaşma veya diğer faz değişimlerine uğrayan maddelerden yararlanılır (Yılmazoğlu, 2010). Duyulur ısı depolama sistemlerinde enerji su, hava, yağ, kaya yatakları, tuğla, kum veya toprak gibi bir depolama ortamının sıcaklığını değiştirerek ortaya çıkan duyulur ısıdan yararlanılarak depolanır (Dinçer ve Rosen, 2002). Bu tür depolamada ısı yüklendiğinde ya da ısı çekildiğinde depodaki ortamın sıcaklığı değişir (Ökten ve Özdemir, 2016). Isı depolama materyali olarak, sıcaklığı arttırıldığında duyulur ısı şeklinde ısı depolayabilen katı ve sıvı materyaller kullanılır.

Duyulur ısı depolama sistemlerinde kullanılan depolama malzemelerinin birçoğu doğada çok miktarda bulunur ve genellikle ucuzdur. Ayrıca, bu materyallerden ısı depolamak için kullanılmak üzere geliştirilmiş olan teknoloji, verimli sistemlerde kullanılması için uygundur. Bu sebeplerden dolayı, günümüzde en çok kullanılan ısı depolama uygulaması olarak duyulur ısı depolama yöntemi tercih edilir. Bu yöntemle ısı depolamada, ısıнын depolanması ve geri kazanılması süresince depolama materyalinin sıcaklığı değişir. Çok sayıda ısı depolama ve geri kazanma çevriminin gerçekleştirilebilmesi, duyulur ısı depolama yönteminin en çekici özelliklerinden

birisidir (Öztürk, 2015).

Duyulur ısı depolamada, depolama malzemesinin ısı kapasitesinin büyük olmasının istenmesinin yanında, yanma ve tutuşma özelliğinin olmaması, maddenin uzun süre (10-15 yıl) özelliklerini koruması, çevre dostu ve korozyon olmaması istenir. Aynı zamanda depolama malzemesinin kolay elde edilebilir ve ucuz olması gerekir (Günerhan, 2008). Duyulur ısı depolama sisteminin verimliliği; ısı depolamada kullanılacak olan materyalinin özgül ısıya, yoğunluğuna ve ısı iletkenliğine bağlıdır. Bunun dışında ısı depolama sıcaklığı, depo ile depolama materyali arasındaki buhar basıncı ve sistem maliyeti diğer etkili parametrelerdir (Öztürk, 2015).

Duyulur ısı depolama sistemlerinde karşılaşılan en önemli sorunlar; ısı depolama süresi boyunca, depolama sıcaklığı devamlı yükseldiğinden dolayı çok fazla miktarda ısı kaybı oluşması ve ısıya geri kazanımı sırasında depolama sıcaklığı sürekli olarak azaldığından sistemin ısı etkinliğinin azalması ve bu nedenle de verimin düşmesidir. Bu sorunlardan dolayı, duyulur ısı depolama sistemlerinin işletimindeki tersinmezlikleri azaltacak tasarım ve işletim parametreleri saptanmalıdır. Bu hedefle, güneş enerjisi ile çalışan ısı enerjisi depolama sistemindeki tersinmezliklerin depolama zamanı ile değişiminin incelenmesi gerekir. Bunun yanı sıra, sistemdeki tersinmezlikleri minimum yapan optimum şartlar belirlenmelidir (Uzun, 2010).

Duyulur ısı depolama yöntemleri, kullanılan depolama materyaline bağlı olarak; (i) sıvılarda ısı depolama, (ii) katılarda ısı depolama ve (iii) sıvı ve katı materyalleri birlikte kullanarak ısı depolama şeklinde incelenebilir. Duyulur ısı depolama sistemlerinde kullanılan en yaygın depolama malzemeleri erimiş tuz, su, yağ, buhar, taş, tuğla ve betondur (Tiskatine ve ark., 2017). Sıvı materyallerde duyulur ısı depolama uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan madde sudur. Su ile duyulur ısı depolamanın en dikkat çeken üstünlükleri, materyalin kolay temin edilmesi, zehirleyici ve yanıcı olmaması, enerji depolamasından yararlanılırken aynı zamanda enerji toplayıcı akışkan olarak da kullanılabilir olması ve ısı kapasitesinin yüksek olmasıdır. Katı materyallerde ise; sıvı materyallere göre daha ucuz olmaları, kolay temin edilebilmeleri, yüksek ve düşük sıcaklıklarda ısıyı depolayabilme, ısı değiştirici kullanılmasına gerek olmaması ve korozyon sorunu ile karşılaşılması en önemli avantajlarıdır (Öztürk, 2015).

Katı materyal kullanılarak ısı depolanan sistemlerde depolama ünitesi olarak,

genellikle içerisinde ısı taşıyıcı akışkan dolaşabilen taş dolgulu yataklardan yararlanılır. Güneş enerjisi depolamak için kullanılan dolgulu yataklarda, toplaçlardan gelen ısınmış hava akışkan içerisine akar. Genellikle dolgu içerisinden geçen hava akımı yönünün ters çevrilmesiyle, depolanan ısı geri kazanılır (Boonsu ve ark., 2016). Dalgulu yatak şeklinde ısı depolama ünitelerinin birçok avantajı vardır. Bunlar; (i) kullanılan ısı depolama materyallerinin; toksik etkili, yanıcı ve pahalı olmaması, yüksek sıcaklıklarda ısı depolanabilmesi, (ii) ısı depolama etkinliğinin yüksek olması, (iii) katı materyaller ve akışkan arasındaki ısı geçiş katsayısının yüksek olması, akışkan olmadığı durumlarda dolgu materyallerinden çok az miktarda ısı kaybı olması olarak sıralanabilir (Öztürk, 2015).



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Arizov ve Niyazov (1980) yaptıkları çalışmada, Özbekistan'da 40 m²'lik polietilen örtülü serada ısı depolama için 2-3 cm boyutlarındaki çakıllardan oluşan dolgu yatağı zeminden 0,5 m derinliğe yerleştirmişlerdir. Isı depolama hacminin 2,5 m³'ü yaklaşık 5,7 ton çakıl depolamak için kullanılmıştır. Ocak ayında dış hava sıcaklığının düşmesine rağmen iç ortam sıcaklığının 13°C de kalması sağlanmıştır.

Huang ve ark. (1981), A.B.D.'de yer alan 176 m²'lik bir serada çakıl dolgu yataklı ısı depolama sistemi kullanmışlardır. Sistem kış gecelerinde sera içinde dış ortam sıcaklığından 5 °C daha yüksek iç hava sıcaklığını korumayı başarmıştır.

Bricault (1982), Kanada ' da 2850 m²'lik PE örtülü serada 0,4 m derinlikte bulunan çakıl taşı dolgulu bir ısıtma sistemi kullanmıştır. Sistem kış aylarında seranın ısıtma ihtiyacının %40'ını karşılamıştır.

Coutier ve Farber (1982), havayı ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanan bir kaya dolgulu yatak içindeki ısı aktarım sürecini tanımlamak için deneyler yapmışlardır. Bu amaçla farklı kaya türlerinin ısı özelliklerini ölçmüşlerdir. Isıl iletkenliği çok düşük olan materyal kullanımının ısı depolama sistemleri için bir dezavantaj olduğunu açıklamışlardır.

Santamouris ve ark. (1994), A.B.D 'de 19 m² taban alanlı küçük bir serada, ısı depolama için 13 ton çakıl taşı kullanmışlardır. Sistem kış koşulları sırasında yaklaşık 10-20 °C'lik ortalama iç hava sıcaklığını muhafaza etmiştir.

Ayensu (1997) metal dolgulu yataklı bir depolama sistemi ile güneş kurutma makinesi tasarlamış ve imal etmiştir. Ürünlerin gece kurutulmasını arttırmak için sistemin yeterli enerjiyi depoladığını ve bu sistemle kurutulan ürünlerin kuruma süresinin açık havada kurutulan ürünlere göre daha kısa sürdüğünü tespit etmiştir.

Hasnain (1998), yaptığı çalışmada kayaçlar, metaller, beton, kum ve tuğla gibi katı maddelerin düşük veya yüksek sıcaklıklarda ısı depolanması için depolama materyali olarak kullanılabileceğini bildirmiştir. Depolama malzemesi olarak düşük maliyetleri nedeniyle çakıl taşları veya kayaların kullanılabileceği ve kullanılan kaya boyutunun 1-5 cm arasında olması gerektiğini bildirmiştir. Dolgulu yatak ısı depolama sisteminde depolanan enerji, malzemenin termofiziksel özellikleri dışında, depolama materyalinin boyutu ve şekli, ısı transfer akışkanı gibi çeşitli parametrelere bağlı

olduğunu da bildirmiştir. Ayrıca alan ısıtma uygulamaları için metre kare güneş kolektörü başına 300- 500 kg kaya kullanılması gerektiğini açıklamıştır.

Kürklü ve ark. (2002), sera ısıtılması için yer altında kaya dolgulu yataklı bir güneş enerjisi depolama sistemi yapmışlardır. Deneyleri her biri 15 m²'lik tünel tipi PE örtülü iki özdeş serada gerçekleştirmişlerdir. Seralardan biri dolgulu yataklı sistemle ısıtılmıştır. Ürün yetiştirilmeyen bu seralarda delikler aşırı yoğunlaşma meydana gelmedikçe kapalı tutulmuştur. Bu çalışmanın sonucunda, dolgulu yatak sisteminin bulunduğu sera ile diğer sera arasında geceleri yaklaşık 10 °C bir hava sıcaklığı farkı olduğu belirlenmiştir. Sistemin gün içinde yüksek güneş radyasyonu ve hava sıcaklıklarıyla daha etkili çalıştığı gözlemlenmiştir. Sistemin enerji toplama etkinliği ise %34 olarak belirlenmiştir. Kaya dolgulu yataklı sistemin seradaki don önleme uygulamaları için de etkili bir şekilde kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, dolgulu yatak sistemi bulunan serada, geceleri sera iç hava sıcaklığının dış ortam sıcaklığına göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Chen ve ark. (2003), kaya dolgulu yatakta ısının depolanması ve transferi üzerine çalışma yapmışlardır. Özgül ısı kapasitesi ve ısı iletkenliğinin kaya yataklarının ortalama sıcaklığı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu ve ısı depolama sistemi tasarlanırken dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Kış aylarında bir serada ısı depolama sisteminin kullanılmasının sıcaklığı ortam sıcaklığının 10 ° C üstüne yükseltebileceğini, böylece sistemin enerji tüketiminin azaltılabileceğini savunmuşlardır. Ayrıca depolama materyalinin ısı kapasitesi ve ısı iletkenliğinin de kaya yatağının ortalama sıcaklığı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Paketlenmiş kaya dolgu yataklı depolama sistemi tasarlanırken materyal boyutunun, ısı depolama yatak sıcaklığını ve ısı depolama verimini yükseltmek için uygun bir şekilde seçilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Öztürk ve Başçetinçelik (2003), Adana'da yaptıkları çalışmada PE örtülü serada dolgu materyali olarak volkanik taş kullanmışlardır. Tünel tipi seranın altına yerleştirilmiş olan bu sistemden, toplam ısı ihtiyacının %20'si karşılanmıştır.

Günerhan (2005), bazalt taşının ısı depolama materyali olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacı ile yaptığı çalışma sonucunda, bazalt taşının ısı depolama özelliğinin yüksek değerde olduğu ve çakıl taşı gibi ısı depolama malzemesi olarak da kullanılabileceği görülmüştür. İncelenen malzemeler arasında bazalt taşının $4,2 \times 10^6$

J/m³K değerindeki ısı kapasitesi en yüksek değer olarak saptanmıştır.

Sethi ve Sharma (2008), yaptıkları literatür taramaları sonucunda ısı depolama sistemlerinin dış ortam sıcaklığından yaklaşık 4- 10 °C daha yüksek iç ortam sıcaklığı sağlaması ile yıllık ısıtma ihtiyaının yaklaşık %20 -70 'inin karşılanabileceğini belirtmişlerdir.

Paksoy ve Ark. (2009), sundukları bildiride ısı enerjisi depolama tekniklerinin binalarda ve tarımda yapılmış uygulamalardan elde edilen sonuçları açıklamışlardır. Mevsimlik ısı enerjisi depolama sisteminin domates yetiştirilen bir serada kullanılmasıyla %68 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca bir süper market için uygulanan yine mevsimsel depolama sonucunda %60 oranında bir enerji tasarrufu elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yararlanarak ülkemizde alternatif enerji kaynaklarının ısı enerji depolamayla değerlendirilmesinin ekonomik ve çevresel katkıları belirlenmiştir. Türkiye’de çok geniş uygulama alanları bulabilecek ısı enerjisi depolama uygulamaları kullanımı sonucunda elektrik ve fosil yakıt tüketiminde elde edilecek tasarrufların ülke ekonomisine ve evre sağlığına ciddi faydalar sağlayacağı belirtilmiştir.

Mawire ve ark. (2009), silika cam, alümin ve paslanmaz elik malzemelerinin çakıl boyutunda duyulur ısı depolama sistemlerinde kullanımının sistem performansına etkisini incelemişlerdir. Bu malzemeleri ısı performans, aksiyal sıcaklık dağılımı, geçici şarj verimi, depolanan toplam enerji ve ekserji açısından değerlendirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, çakıl taşı dolgu yataklı sistemlerin ısı performansı için sadece depolanan enerjinin toplam miktarının önemli olmadığını ayrıca ısı katmanlaşma sıcaklığının da dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Toplam ekserjinin depolanan toplam enerjiye oranının yüksek olmasının çakıl boyutundaki materyallerin ısı performansını olumlu etkilediği belirtilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre silika camın en iyi ısı katmanlaşma performansına sahip olduğu bildirilmiş olmasına rağmen paslanmaz çeliğin daha fazla miktarda enerji depoladığı görülmüştür. Aluminin ise en hızlı enerji depolama oranına sahip olduğu ve şarj işlemi boyunca en iyi ekserji enerji oranına sahip olduğu gözlemlenmiş olup şarj işlemi sonunda silika cam ile kıyaslanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Tekkurşun ve ark. (2010) dolgu malzemesi olarak cam bilye kullandıkları çalışmada, deneysel ölçümlerden ve model denklemlerinin nümerik olarak

çözülmesinden elde edilen sonuçların birlikte irdelenmesiyle ısı deposunda gerçekleşen ısı transferi mekanizmaları, ısı kaybı ve ısı deposunun verimini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda yapılan hesaplamalara ve elde edilen grafiklere göre dolgulu yataklı sistem için yüksek debilerde ulaşılan maksimum enerjinin daha fazla olduğu, aynı debilerde yürütülen deneylerde daha yüksek başlangıç sıcaklıkları için daha yüksek maksimum enerjilere ulaşıldığı görülmüştür. Buna karşın sistemde düşük debide yürütülen deneylerde sistemden enerji alınan sürenin, yüksek debide yürütülen deneylere göre daha uzun olduğu ve alınan enerjide yüksek debide yürütülen deneylerde olduğu kadar ani bir düşüşün yaşanmadığı ve eksensel yönde ısı dispersiyonunun debi ile değiştiği görülmüştür.

Hänchen ve ark. (2011), kaya dolgulu yataklarda yüksek sıcaklıkta akışkan kullanarak ısı enerji depolama sisteminin büyük güneş enerjisi tesisleri için uygunluğunu araştırmışlardır. Bu amaçla; şarj / deşarj özellikleri, günlük çevrimsel işletme, toplam ısı verimlilik ve kapasite oranını değerlendirmek için dolgulu yatak boyutları, akışkan akış hızı, parçacık çapı ve katı faz materyali üzerinde bir parametre çalışması gerçekleştirilmiştir. Sistemin sürekli olarak çalışması durumunda, optimum verimlilik koşullarında genel verimliliğin %90'ı aştığı belirtilmiştir. Sabit döngüsel bir duruma, yaklaşık yirmi günlük 6 saatlik şarj ve 6 saatlik boşaltma işlemlerinden sonra ulaşılmıştır. Değerlendirilen parçacık boyutları aralığında, en küçük parçacık boyutu için en yüksek genel verimlilik bulunmuştur.

Öztürk (2012), yaptığı bu çalışmada Antalya iklimi koşullarında bir polietilen (PE) plastik seranın ısıtılması amacıyla, güneş enerjili ısıtma sistemleri için tasarım değişkenlerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Bu amaçla ısı depolama materyali olarak su kullanılarak, duyulur ısı depolama yöntemi ile kısa süreli (gündüzden geceye) depolanması amaçlanmıştır. Güneş enerjisi depolama uygulanan plastik sera bölmelerinde, topraksız domates yetiştirildiği kabul edilmiştir. Güneş enerjisinin duyulur ısı depolama yöntemi ile sera ısıtma amacıyla depolanması durumunda, sera tarımının toplam üretim giderleri içerisinde büyük yer tutan ısıtma giderlerinin azalacağı bildirilmiştir. Yapılan ön hesaplamalar sonucunda, güneş enerjisinden yararlanarak sera ısıtma uygulaması için gerekli kömür miktarından %60-70 oranında tasarruf sağlanacağı belirlenmiştir. Isıtma giderlerinin azalmasına bağlı olarak seralarda yetiştirilen ürünlerin üretim maliyetinin de azalacağı açıklanmıştır. Serada yetiştirilen ürünlerin üretim

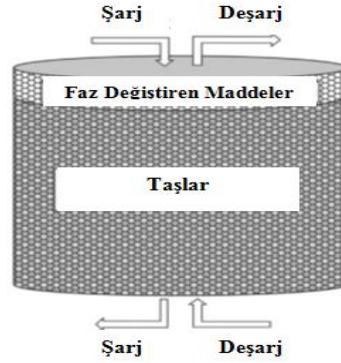
maliyetlerinin azalması, bu ürünlerin dış ve iç pazarlarda pazarlanmasını kolaylaştıracak, özellikle dış piyasalarda rekabet edebilirlik sağlayacağı tahmin edilmiştir. Tüketicilerin serada yetiştirilen ürünleri daha ucuza alabilmeleri sonucunda toplumsal refaha katkı sağlanacağı belirtilmiştir. Sera ısıtma için kullanılması gereken enerji miktarının azalmasına bağlı olarak, önemli oranda enerji tasarrufu sağlanacağı belirtilmiştir. Enerji dış alımı yapan ülkemizde, enerji dış alımı için ödenecek döviz miktarı azalacağından, ulusal ekonomiye önemli katkı sağlanacağı öngörülmüştür. Enerji tasarrufu sağlanmasının önemli bir sonucu olarak, sera ısıtma uygulamaları için fosil yakıt tüketimi de azalacağından, atmosferde sera etkisi yaratan başlıca gazlardan birisi olan CO₂ gazı salınımı da önemli oranda azalacaktır. Böylece, çevre korunmasına da katkı sağlanabileceği açıklanmıştır. Ayrıca proje kapsamında önerilen ısı depolama yönteminin tasarımı basit ve maliyetinin düşük olduğu da açıklanmıştır.

Zanganeh ve ark. (2012), depolama malzemesi olarak kayaların kullanıldığı bir dolgulu yataklı ısı depolama sistemini yoğunlaştırılmış güneş enerjisi uygulamalarında kullanımı için analiz etmişlerdir. Depolama sisteminin çalışması sabit döngüsel harekete yaklaştığında toplam ısı verimlilik yaklaşık %95'e ulaşmıştır.

Khare ve ark. (2013), katı materyallerde duyulur ısı depolamanın ekonomik olarak cazip bir uygulama olduğunu fakat uygun duyulur ısı depolama materyali belirlenmesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu amaçla yaptıkları çalışmada, yüksek sıcaklık (> 500 °C) ta ki ısı enerjisi depolama sistemleri için çevresel etkiler de göz önüne alınarak uygun materyaller araştırmışlardır. Duyulur ısı depolama için 500-750 °C sıcaklıkta alümin, silisyum karbür, yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton, grafit, dökme demir ve çelik gibi yaygın malzemeler oldukça uygun bulunmuştur. Yüksek alüminli çimento esaslı malzemeler ve alümin silikat geopolimerler gibi yüksek sıcaklık etkisinde kalmış betonlar duyulur ısı depolama materyali olarak diğer kompozit maddelere göre daha ekonomik olduğu belirtilmiştir. Termo fiziksel özelliklerinin, agrega, bağlayıcı ve katkı maddelerinin uygun bir seçimi ile duyulur ısı depolama için optimize edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca ısı enerjisi depolanması için gizli ısı depolamaya kıyasla, tasarım, yapım, maliyet ve çalışma kolaylığı açısından duyulur ısı depolamanın daha avantajlı olduğunu açıklamışlardır.

Zanganeh ve ark. (2014), yoğunlaştırılmış güneş enerjisinden yararlanabilmek amacıyla taş dolgulu yatağın üst bölgesine belirli miktarda kapsül haline getirilmiş faz

değiştirme malzemesi ekleyerek duyulur ve gizli ısı depolamanın avantajlarını birleştiren, onları ayrı ayrı kullanırken oluşan olumsuzlukları azaltan bir tasarım önermişlerdir.



Şekil 2.1. Faz değiştirme materyali ve taş dolgulu yatak içeren gizli ve duyulur ısı depolama sistemi (Zanganeh ve ark., 2014)

Sistemin çalışma prensibi Şekil 2.1’de de gösterildiği gibi, şarj işlemi sırasında sıcak hava üstten depolama sistemine girerek ısıyı faz değiştiren maddeye ve taşlara aktarır ve alt kısımdan çıkmaktadır. Boşaltma esnasında ise akış tersine çevrilip sırasıyla havanın alt kısımdan girmesi, taşlar ve faz değiştiren maddeler tarafından ısıtılması ve üst kısımdan çıkması şeklindedir. Denemeler sonucunda boşaltma sırasındaki çıkış sıcaklığının faz değiştiren maddelerin erime sıcaklığı çevresinde sabit tutulabileceğini ve böylece sadece duyulur ısı depolamaya dayalı olarak ısı depolamanın doğal sıcaklık düşüşünü ortadan kaldıracaklarını göstermektedir. Sistemin genel verimliliği ise faz değiştiren madde eklenmesinden önemli ölçüde etkilenmemiştir.

Allen ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada, dolgulu yataklarda özellikle kaya yataklarında ölçülen basınç düşüşü ve ısı transfer özelliklerine dayalı optimum partikül büyüklüğü ve yatak boyutlarını belirlemek için bir yöntem sunmayı amaçlamışlardır. Taş dolgulu yatakta ısı depolanmasının, 600°C'ye kadar olan sıcaklıklarda umut verici olduğu gösterilmiştir. Taş dolgulu yataklar da mevcut teknolojilerden daha düşük bir maliyetle ısı depolama sağlayıp sağlayamayacağını belirlemek için, maliyeti tahmin etmek ve optimum tasarım parametrelerini bulmanın gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Taş dolgulu yataklarda sürtünme faktörünün önemli derecede değişebildiğini belirtmişlerdir ve ayrıca ısı taşıyıcı akışkanın yönüne de çok bağlı olduğu belirtilmiştir.

Taşların büyüklüğünü optimum 0,02 m ve yatak uzunlukları 6 m olan parçacık boyutlarını önermişlerdir.

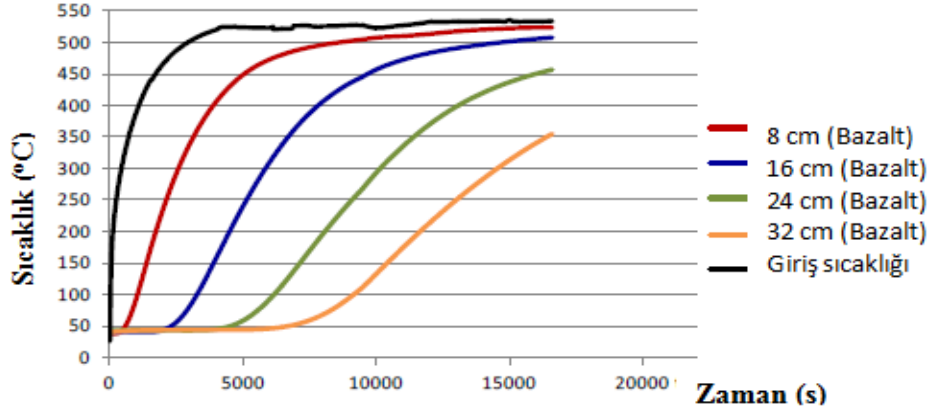
Grirate ve ark. (2014), ısı enerjisi depolama sisteminde kuvarsın ekonomik ve verimli bir dolgu malzemesi olarak potansiyelini göstermek amacıyla bazı taşlar arasında kıyaslama yapmışlardır. Kuvarsın 350°C'ye kadar duyulur ısı ile ısı enerjisi depolanması için iyi bir dolgu malzemesi olduğu gösterilmiştir. Fas'ta bol miktarda bulunan beş çeşit kaya türü (kuvars, bazalt, granit, hornfels ve mermer) arasında en iyi dolgu malzemesini seçmek için yaptıkları deneylerde, optimal kayaç yüzey özellikleri, gözeneklilik, yoğunluk, ısı kapasite, sertlik, mekanik direnç gibi çeşitli ölçütlere göre seçim yapmışlardır. Test edilen kayaçların fiziksel özelliklerinin analizi, kuvarsın yüksek yoğunluklu (2,5-3 g/cm³) olduğunu göstermiştir. Ayrıca dolgu malzemesi olarak duyulur ısı depolama sisteminde kayaların kullanılması ile sistemin verimliliğini arttırıldığı ve maliyetinin düşürüldüğü belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, kuvarsitin enerji depolama için en uygun dolgu malzemesi olarak, ısı taşıyan akışkan ile doğrudan temas halinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Allen ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada birçok kaya tipinin dayanıklılığını değerlendirmek için bir dizi ısı döngü testi (530°C' ye kadar) gerçekleştirmişlerdir. Hornfels, bazı gnays türleri, gevşek granit ve dolerit gibi birkaç kayacın ısı depolama materyali olarak uygunluğunu tespit etmişlerdir.

Schlipf ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada küçük taneli ısı enerjisi depolama malzemesinin etkisini, teorik modeller ve deneysel sonuçlar kullanılarak incelemişlerdir. Dolgulu yatak sisteminde ısı enerjisini depolamak için silika kum, kuvars çakıl ve bazalt gibi küçük taneli malzemeler kullanılmış ve analiz edilmiştir. Bu tür bir sistemin sıcaklık aralığının oldukça büyük olduğu ve 550°C 'den daha yüksek sıcaklıklarda genel olarak şarj sırasındaki hareketlerden etkilenmeden depolamanın mümkün olduğunu tespit etmişlerdir.

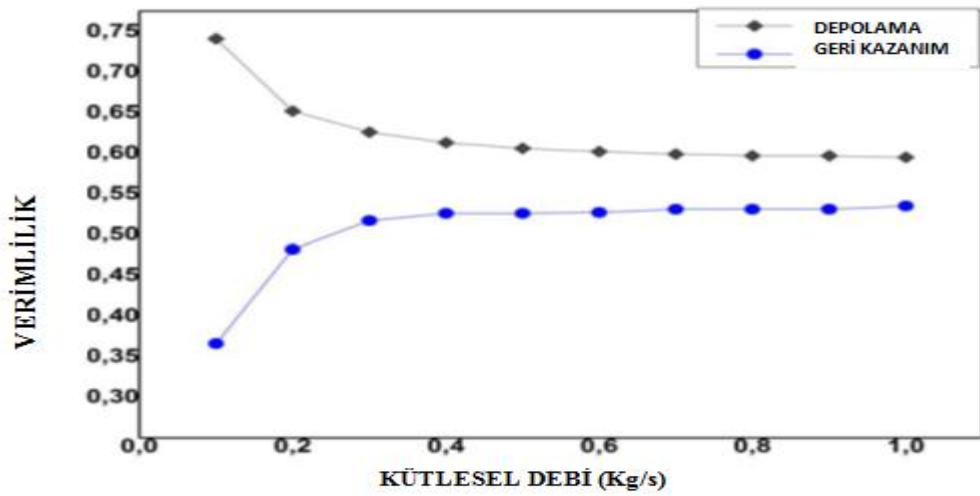
Taş içindeki sıcaklık dağılımının çok hızlı olduğunu ve bu nedenle ısı enerjisini şarj ve deşarj süresi boyunca çok hızlı bir şekilde materyale giriş ve çıkış yapabildiği tespit edilmiş ve bu nedenle de termoklinin çok keskin davranışı gözlenmiştir. Deneysel sonuçlara dayanarak, dolgulu yatak boyunca sıcaklık davranışı için geliştirdikleri model ile dolgulu yatağın tasarımı ve farklı parametrelerin (yüzeysel hız gibi) depolama sisteminin farklı sınır koşullarına kolayca uygulanabilirliğinin mümkün olduğunu

açıklamışlardır.



Şekil 2.2. 530 °C giriş sıcaklığı için dolgulu yatakta farklı boyutlarda ki bazalt taşlarının sıcaklık davranışı (Schlipf ve ark., 2015)

Erregueragui ve ark (2016), ekonomik ve çevreye duyarlı ısı depolama için duyulur ısı şeklinde depolama yapan bir dolgulu yataklı ısı depolama sistemi araştırmışlardır. Sistem de dolgu malzemesi olarak kuvarsit ve ısı transfer sıvısı olarak ise palm yağı kullanmışlardır. Sonuçlar, palm yağı ile şarj edilebilen sıcaklık, diğer sentetik yağlarla şarj edildikleri sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık dağılımı göstermiştir. Simülasyonlar, bir dolum ve deşarj döngüsü için depolama etkinliğinin %35- 75 arasında artış gösterdiğini göstermiştir.



Şekil 2.3. Farklı kütle akış hızları için şarj (8h) ve boşalma (3h) döngüsünün verimlilikleri (Erregueragui ve ark., 2016).

Warkhade ve ark. (2016), depolama materyali olarak çakıl ve kayalar kullanılan ısı depolama sisteminin performansı üzerine; kütle akış hızı, malzemenin şekli, ısı transfer alanları ve ortam koşulları gibi çeşitli çalışma parametrelerinin etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla yapılan deneyler, kritik çalışma parametrelerinin performansını ve tanımlanmasını değerlendirmek için çeşitli çalışma koşullarında yürütülmüştür. Bulunan sonuçlar, kütle akış hızı arttıkça sıcaklık dağılımının zamanla arttığını ve kütle akış hızı düştüğünde ise yataktaki sıcaklık dağılımının yavaş olduğunu göstermiştir. Kütle akış hızı daha fazla olduğunda, şarj hızı parçanın boşluğuna bağlı olarak daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kütle akışı minimum olduğunda ise, tam şarj için gereken sürenin daha uzun olduğu ve kütle akış hızı arttıkça şarj için gereken sürenin azaldığı görülmüştür. Yüksek kütle akış hızı için ise, tam şarj sırasında gereken sürenin minimum olduğu açıklanmıştır.

Atalay ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, Golden Delicious cinsi elmanın kuruma oranını belirlemek için bir güneş hava ısıtıcısı geliştirmişlerdir. Kurutma işlemini sürekli olarak sağlamak için ise dolgulu yataklı bir ısı enerjisi depolama sistemi tasarlamış ve üretmişlerdir. Deneysel çalışmalarda, dolgulu yatakta depolanan ısı enerjisi miktarının, elmaların kurutulması için gereken yeterli enerjiden fazlasını sağladığı belirtilmiştir.

Jemmela ve ark. (2017), dolgu yataklı depolama sisteminde dolgu malzemesi olarak kullanılacak kuvarsit ve çakmaktaşı kayalarının potansiyelinin araştırılmasını amaçlamışlardır. Hızlandırılmış ısı döngü testlerinin sonuçlarına göre, bu kayalarla ısı işlemini gerçekleştirmenin, özellikle sistemin ömrünü uzatmak için 250°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Isı Depolama Materyali

Çalışmamızda ısı depolama materyali olarak yaklaşık 2,5 ton Şekil 3.1.'de görülen bazalt taşı kullanılmıştır. Bazalt taşı, yeryüzünde en çok rastlanan kayaç türlerindendir. Saha üzerinde lavlar halinde, çoğunlukla kolan yapısı gösterirler. Sert taşlar sınıfında bulunan ve renkleri genellikle siyah olan bazaltlar yoğun ve homojen bir renge sahiptir. Bazaltın siyah renkli ve ağır olması, içerisinde bulunan manyetitten kaynaklanmaktadır. Bazaltlar iri ve ince taneli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kayaçta ayrıca gaz boşlukları mevcut olup, bunlar herhangi bir dolgu malzemesi tarafından doldurulmamıştır. Su emmesi az, aşınmaya ve iklim şartlarına yüksek dayanıklılığı nedeniyle alt ve üst yapı malzemesi olarak en çok kullanılan doğal bir taştır. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak bazalt Osmaniye'nin Toprakkale ilçesinde faaliyet gösteren bir firmadan tedarik edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada ısı depolama materyali olarak kullanılan bazalt taşı

Toprakkale bazaltı; Toprakkale ve Erzin ilçeleri ile İskenderun Körfezi arasında yer almakta olup, Kuvaterner yaşlı Plato bazaltları şeklinde yaklaşık 115 km'lik bir alanda yayılım göstermektedir. Toprakkale bazaltları arazide masif, siyah-gri renkli, irili-ufaklı ve köşeli bloklar halinde izlenebilmektedir. Tedarikçi firmadan alınan bazalt taşına ait fiziksel ve ısı özellikler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazalt taşının fiziksel özellikleri

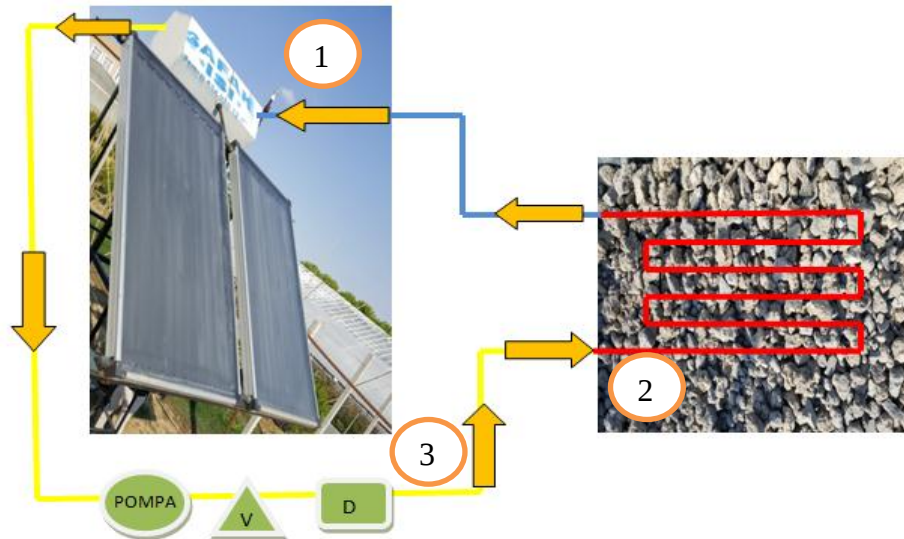
Özellik	Değer
Sertlik (Mohos) (10 üzerinden)	6,5
Sertlik (Schmidt)	71
Yoğunluk (gr/cm ³)	2,72
Boşluk Oranı (%)	0,20
Doluluk Oranı (%)	99,4

Çizelge 3.2. Bazalt taşının ısı özellikleri (Eppelbaum ve ark., 2014.)

Özellik	Değer
Yoğunluk (kg/m ³)	2720
Isı İletim Katsayısı (W/mK)	1,69
Özgül Isı (kJ/kgK)	1,23

3.1.2. Isı Depolama Sistemi

Güneş enerjisinin bazalt taşı kullanarak duyulur ısı depolama yöntemi ile günlük olarak depolanması için tasarlanmış bu çalışma Antakya, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Tayfur Sökmen Kampüsünde yürütülmüştür. Güneş enerjisinin depolanması ve tekrar kullanımının şematik görünümü Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 de gösterilmiştir. Sistem aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır;



Şekil 3.2. Sistemin Şematik Gösterimi (1. Isı toplama ünitesi, 2. Isı depolama ünitesi, 3. Isı taşıma ünitesi)

Kolektörlerden gelen ısı taşıyıcı akışkan depolama sistemine Şekil 3.2'deki gibi

iletilmiştir. Depo içerisinde dolaştırılan ısı taşıyıcı akışkanın taşıdığı ısı, depo içerisinde bulunan taşlar tarafından absorbe ederek depolanmıştır. Soğuyan akışkan tekrar kolektöre iletilmiştir. Böylece sürekli bir şekilde ısı depolama ünitesi ve kolektör arasında ısı depolama akışkanının dolaşımı sağlanmıştır.

3.1.3. Isı Toplama Ünitesi

Isı depolama ünitesinde ısı enerjisi olarak depolanacak olan güneş enerjisinin toplanması için, düzlemsel güneş kolektörlerinden yararlanılacaktır. Düzlemsel güneş kolektörleri (Şekil 3.5), düzlemsel yapıda olan, güneş enerjisini bir kısmını absorbe ederek bu enerjiyi ısı olarak kolektör içerisindeki akışkana iletmektedirler. Düzlem topaclar üstten alta doğru; camdan yapılan üst örtü, cam ile soğurucu plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik soğurucu plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşur.



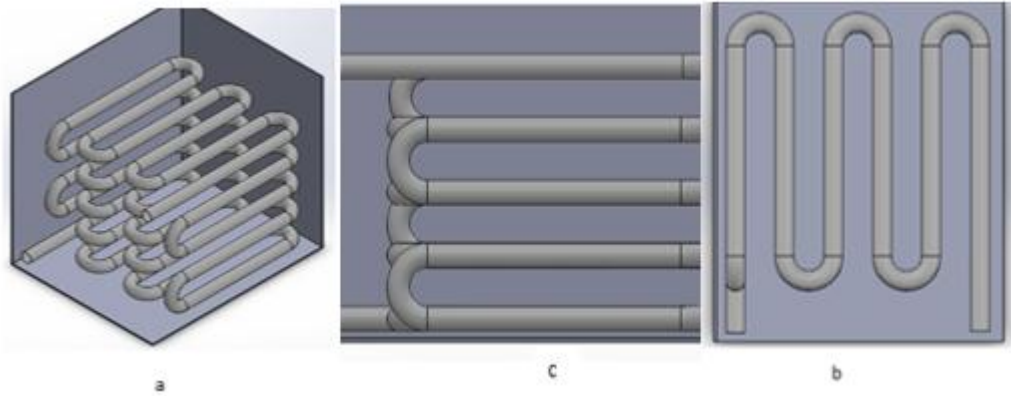
Şekil 3.5. Düzlemsel güneş kolektörü

Kolektörler; ısı taşıyıcı akışkana bağlı olarak, havalı ve sıvılı tip olmak üzere iki

grupta incelenebilirler. Suyun ısı taşıma verimliliği daha yüksek olduğundan, sıvılı toplalarda soğurucu plakanın sıcaklığı, içindeki ısı taşıyıcı akışkandan sadece birkaç derece yüksektir. Sıvılı toplalar, daha fazla enerji toplar ve verimleri daha yüksektir. Bu nedenle çalışmada özellikleri aynı olan 2 adet standart sıvılı tip düzlemsel güneş kolektörü kullanılmıştır.

3.1.4. Isı Depolama Ünitesi

Isı depolama ünitesi olarak Şekil 3.6. ve 3.7. 'de görülen, korozyona dayanıklı galvanizli sac malzemeden tasarlanmış olan kare prizma şeklindeki 1m³ hacminde ki depolama tankı kullanılmıştır. Isı depolama ünitesinin dış ve iç yüzeyi arası ısı kaybının önlenmesi için köpük poliüretan doldurularak yalıtılmıştır.



Şekil 3.6 Isı depolama ünitesi a) izometrik görünüş, b) sağ görünüş, c) üst görünüş



Şekil 3.7. Isı Depolama Ortamı

3.1.5. Isı Taşıma Ünitesi

Çalışmada ısı taşıyıcı akışkanın taşınması için çapı 2,54 cm (1 inç) olan Şekil 3.8.'de görülen oluklu PE boru kullanılmıştır. Bu tip boru kullanılmasının en önemli nedeni üzerinde oluklar bulundurması nedeniyle boru yüzey alanının artması ve bundan dolayı ısı iletiminin daha iyi olmasıdır. Ayrıca bu tip boruların montajı ve yerleştirilmesi kolaydır.



Şekil 3.8 Oluklu PE boru

3.1.6. Veri Kaydedici (Data- Logger) ve Sıcaklık Algılayıcı

Veri kaydedici algılayıcılar yardımı ile ölçüm alarak verileri özel veri tabanında kaydeder. Üzerinde bulunan işletim sistemi sayesinde istenen amaca hizmet etmek üzere farklı programlar hazırlanabilir. Bu programlar sayesinde birçok şekilde ölçüm alınabilir ve harici aygıtlar kontrol edilebilir.

Çalışmamızda veri kaydedici olarak kullandığımız Şekil 3.9.'da gösterilen HOB0 UX120-006M model data logger aynı anda 4 farklı noktadan ölçüm alabilmeyi sağlayan dış girişlere sahiptir. Ölçüm aralığı 1 saniye ile 18 saat arasındadır. 1600000 ölçüm alma kapasitesine sahiptir.

Sıcaklık ölçümleri için Şekil 3.9.da gösterilen hava, toprak ve su sıcaklığı algılayıcısı kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Veri kaydedici (Data-Logger) ve sıcaklık algılayıcı

3.1.7. Debi Ölçüm Cihazı

Sistemde dolaşacak olan ısı taşıyıcı akışkanın debisinin ölçümü amacıyla Şekil 3.10. da gösterilen FMTD.025 model 6-60 L/dk ölçüm aralığı olan debi ölçer kullanılmıştır. Sistemde suyun akışı bir pompa ile sağlanmıştır. Su akış debisinin istenilen değere sabitlemek için debimetre ile pompa arasına bağlanan bir vana kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Debi Ölçüm Cihazı

3.1.8. Sirkülasyon Pompası

Isı taşıyıcı akışkanın sistemde dolaşmasını sağlamak amacıyla Şekil 3.11.'de gösterilen rakor bağlantılı 200 W gücünde olan 3 kademeli ve 220 V gerilim altında çalışan sirkülasyon pompası kullanılmıştır.

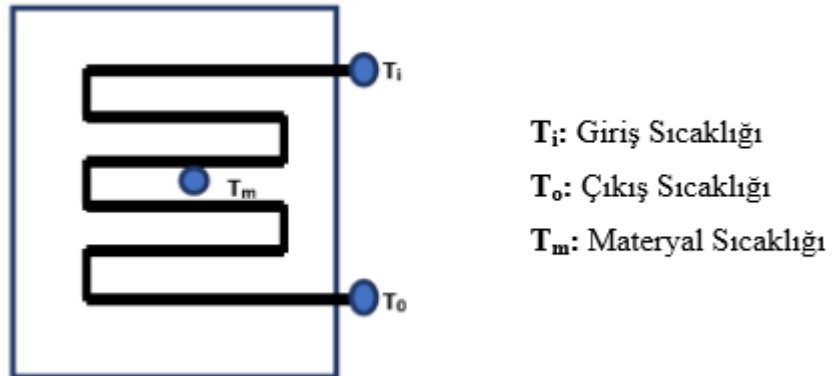


Şekil 3.11. Sirkülasyon Pompası

3.2. Yöntem

3.2.1. Sıcaklık Ölçümü

Sisteme akışkanın giriş, çıkış noktalarından ve materyalin sıcaklığını ölçmek için depo içerisinden olmak üzere Şekil 3.12’de görüldüğü gibi 3 noktadan sıcaklık ölçümü yapılmış ve ölçüm verileri data logger ile kaydedilmiştir. Sıcaklık ölçümleri her 10 dakikada bir alınarak kaydedilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilirken depolama sistemine suyun giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığı arasındaki farkın eksi olduğu durumlar yani deşarj durumu dikkate alınmamıştır. Çünkü denemede deşarj sistemi kurulmamıştır.



Şekil 3.12. Isı depolama sisteminde yapılacak olan ölçüm noktaları

3.2.2. Debi Ölçümü

Isı taşıyıcı akışkanın farklı debilerde sistem içerisinde dolaşması için gerekli debi miktarı kısma vanası ile sağlanmıştır. Debi ölçüm cihazı ile yapılan ölçümde istenilen debiye gelene kadar vana kısılmıştır. Denemeler 15, 30 ve 45 L/dk olmak üzere üç farklı debide gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Akışkanın Aktardığı Isı Miktarının Hesaplanması

Isı depolama sistemine ısı taşıyıcı akışkan olan suyun aktardığı ısı miktarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\dot{Q}_{su} = \dot{m} C_{su} (T_i - T_o) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

$\dot{Q}_{su}$: Suyun aktardığı ısı (kJ/s)

$\dot{m}$: Kütleli debi (kg/s)

C_{su} : Suyun özgül ısısı (4,18 kJ/kg °C)

T_i : Isı depolama sistemine giren suyun sıcaklığı (°C)

T_o : Isı depolama sisteminden çıkan suyun sıcaklığı (°C)

3.2.4. Isı Depolama Materyalinin Depoladığı Isı Miktarı

Isı depolama materyalinin ortasından yapılan sıcaklık ölçümleri sonucunda elde edilen en düşük ve en yüksek sıcaklık farklarını kullanarak bazalt taşlarının depoladığı ısı miktarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$Q_{taş} = m C_{taş} (T_{max} - T_{min}) \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

$Q_{taş}$: Depolanan Isı Miktarı (kJ)

m : Bazalt taşının kütlesi (2500 kg)

$C_{taş}$: Bazalt taşının özgül ısısı (1,23 kJ/kg °C)

T_{max} : Depo içi en yüksek sıcaklık (°C)

T_{min} : Depo içi en düşük sıcaklık (°C)

3.2.5. Isı Depolama Etkinliğinin Hesaplanması

Bazalt taşlarının depoladığı ısı miktarının, ısı depolama sistemine ısı taşıyıcı akışkan olan suyun taşıdığı ısı miktarına oranı hesaplanarak sistemin etkinliği hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{Q_{taş}}{Q_{su}} \times 100 \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

- η : Isı Depolama Etkinliği (%)
- $Q_{taş}$: Depolanan Isı Miktarı (kJ)
- Q_{su} : Suyun Aktardığı Isı Miktarı (kJ)

3.2.6. Hacimsel Isı Kapasitesi

Isı depolama materyalinin ortasından yapılan sıcaklık ölçümleri sonucunda elde edilen en düşük ve en yüksek sıcaklık farklarını ve sistemin hacmi, bazalt taşlarının depoladığı ısı miktarına oranlanarak bazalt taşının hacimsel ısı kapasitesi hesaplanmıştır.

$$S_v = \frac{Q_{taş}}{V \times (T_{max} - T_{min})} \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

- S_v : Hacimsel Isı Kapasitesi (kJ/ m³ °C)
- V : Depo Hacmi (0,9 m³)
- $Q_{taş}$: Depolanan Isı Miktarı (kJ)
- T_{max} : Depo içi en yüksek sıcaklık (°C)
- T_{min} : Depo içi en düşük sıcaklık (°C)

3.2.7. Verilerin İstatistiksel Analizi

Ölçülen veriler ve hesaplanan depolanan ısı miktarları arasındaki ilişkileri belirlemek için SPSS programı kullanılarak istatistiksel analizler yapılmıştır. Yapılan

istatistiksel analizleri řu şekilde sıralayabiliriz. Su akış debisinin depolanan ısı miktarına olan etkisi varyans analizi yapılarak istatistiksel olarak etkisinin önemli olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca Duncan testi ile debi değışiminin depolanan ısı miktarında istatistiksel olarak bir etkisinin olup olmadığı analiz edilmiştir. Giriş sıcaklığı ile depolanan ısı miktarı arasındaki ilişkiyi belirlemek için bu iki veri arasında analiz yapılmıştır. Son olarak su akış debisi, giriş sıcaklığı ve depolanan ısı arasında regresyon analizi yapılarak model oluşturulmuştur.

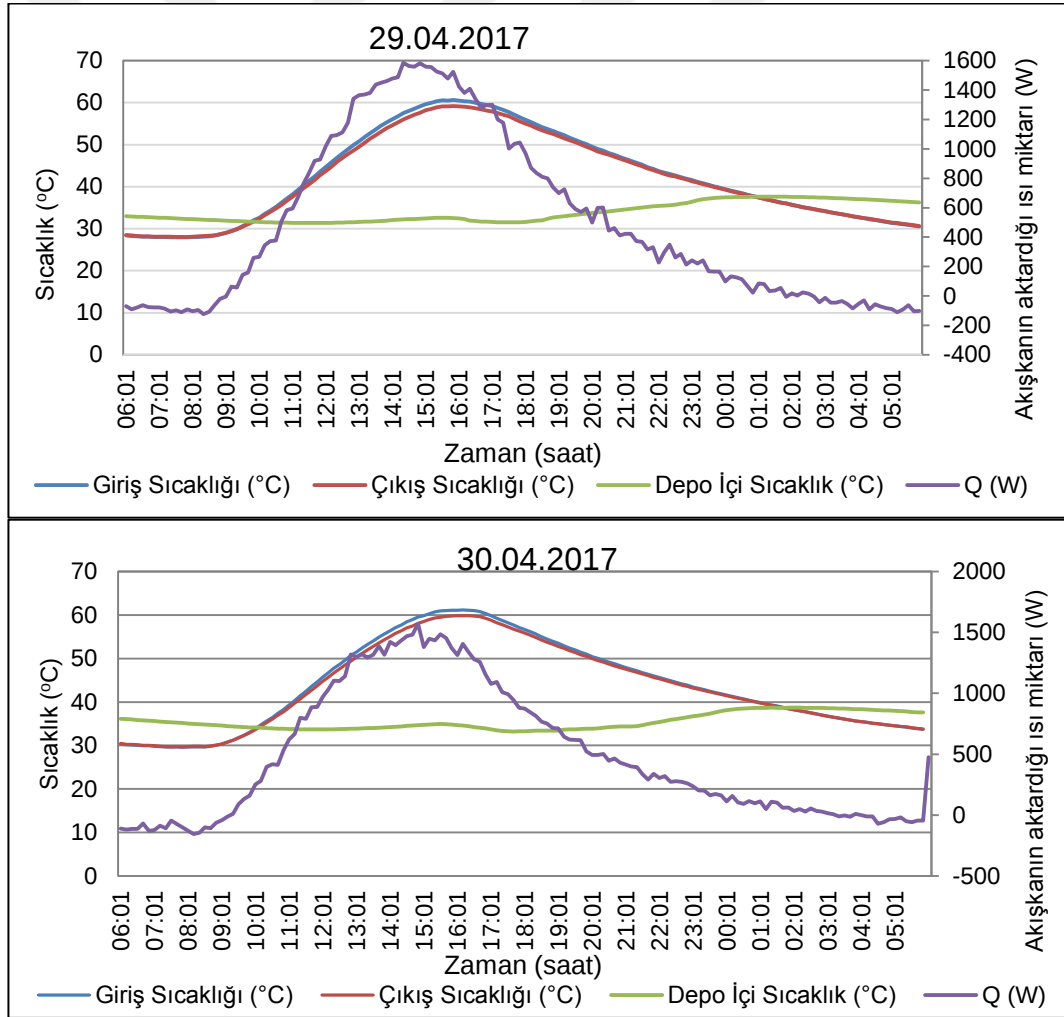


4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

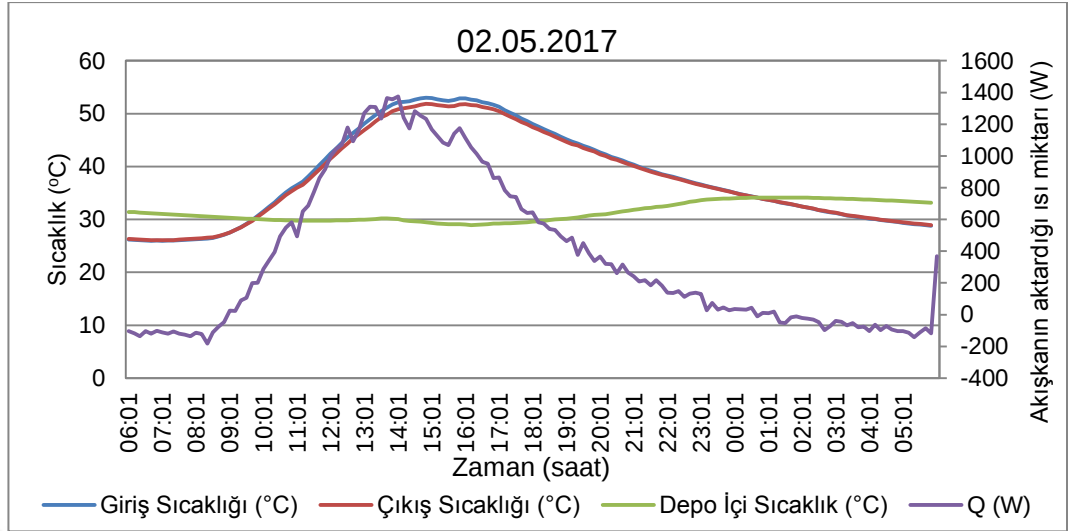
Çalışma sonucunda üç farklı su akış debisinde (15, 30 ve 45 L/dk) yapılan ölçümlere ait 3 günlük su giriş çıkış sıcaklığını, depo içi sıcaklığı ve depolanan ısı miktarını gösteren grafikler aşağıdaki şekilde verilmiştir.

4.1. Farklı Su Akış Debilerinde Yapılan Ölçümler

Su akış debisi 15 L/dk olarak ayarlanan sistemde 29-30 Nisan ve 2 Mayıs 2017 günlerine ait 10 dk aralıklarla yapılan ölçümlerin grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. 15 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler

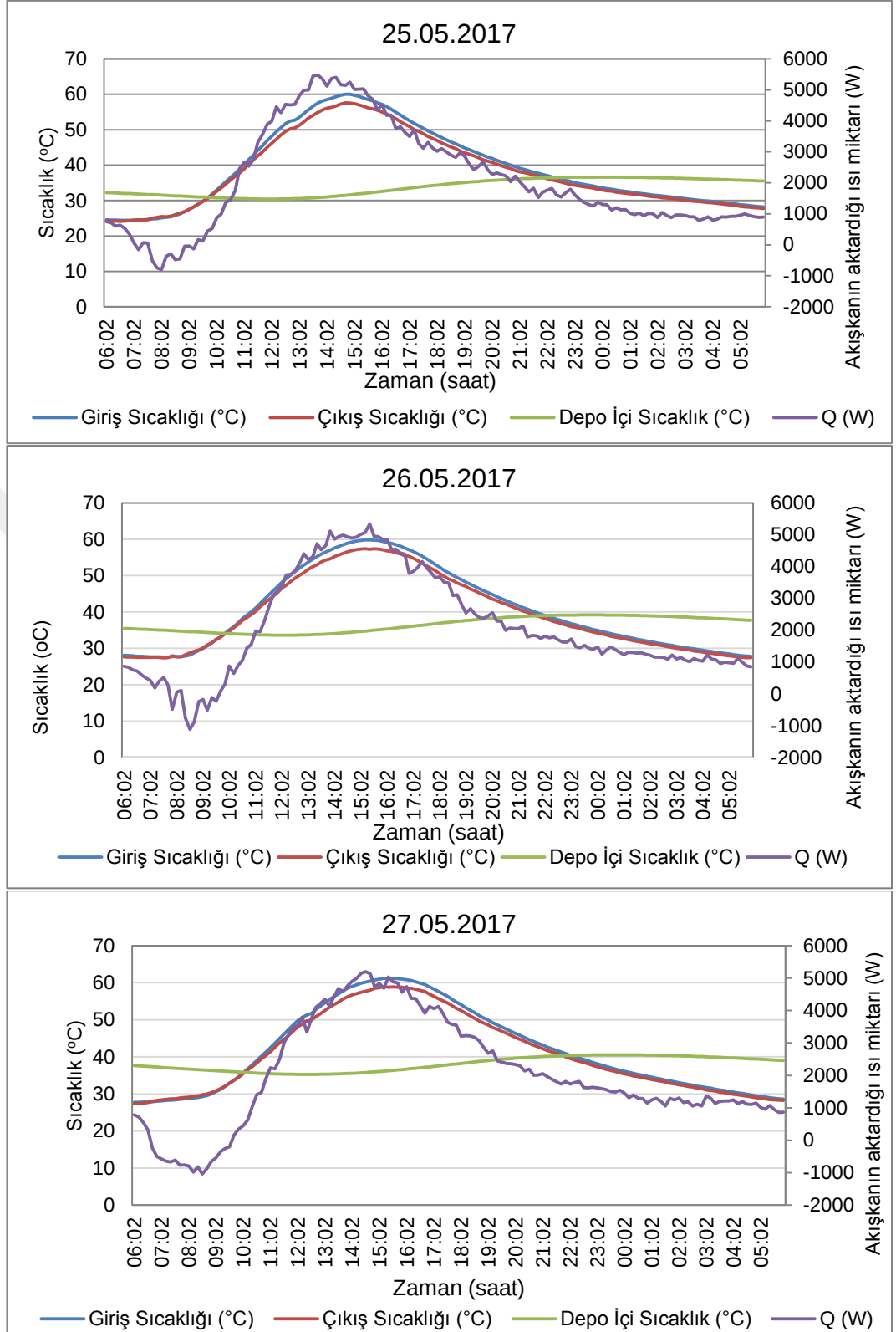


Şekil 4.2 (Devam). 15 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler

15 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda aktarılan ısının giriş sıcaklığına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Toplaçlardan gelen suyun sıcaklık artışı tüm günlerde saat yaklaşık 8'den sonra başlamaktadır. Bu artışı öğleden sonra saat 14'e kadar devam ettiği görülmektedir. Özellikle öğle saatlerinde en yüksek değerine ulaşmıştır. Giriş sıcaklığının azalmaya başladığı saatlerde ise depo içerisindeki sıcaklığın artmaya başladığı görülmüştür. Gün boyunca depo içi sıcaklık değişiminin yaklaşık 6°C'lik bir aralıkta gerçekleştiği belirlenmiştir. Depo içi sıcaklığın en yüksek olduğu 38°C'ler gece yarısından sonra ölçülmüştür. Aynı zamanda depoya giren su sıcaklığının çıkan su sıcaklığından daha düşük olduğu yani sistemin ısı kaybettiği belirlenmiştir.

Su akış debisi 30 L/dk olarak ayarlanan sistemde 25-26 ve 27 Mayıs 2017 günlerine ait 10 dk aralıklarla yapılan ölçümlerin grafikleri Şekil 4.2'de verilmiştir.

30 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda aktarılan ısının giriş sıcaklığına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Toplaçlardan gelen suyun sıcaklık artışı tüm günlerde saat yaklaşık 8'den sonra başlamaktadır. Bu artışı öğleden sonra saat 14'e kadar devam ettiği görülmektedir. Giriş sıcaklığının azalmaya başladığı saatlerde ise depo içerisindeki sıcaklığın artmaya başladığı görülmüştür. Gün boyunca depo içi sıcaklık değişiminin yaklaşık 6°C'lik bir aralıkta gerçekleştiği belirlenmiştir. Depo içi sıcaklığın en yüksek olduğu 40°C'ler gece yarısından sonra ölçülmüştür.

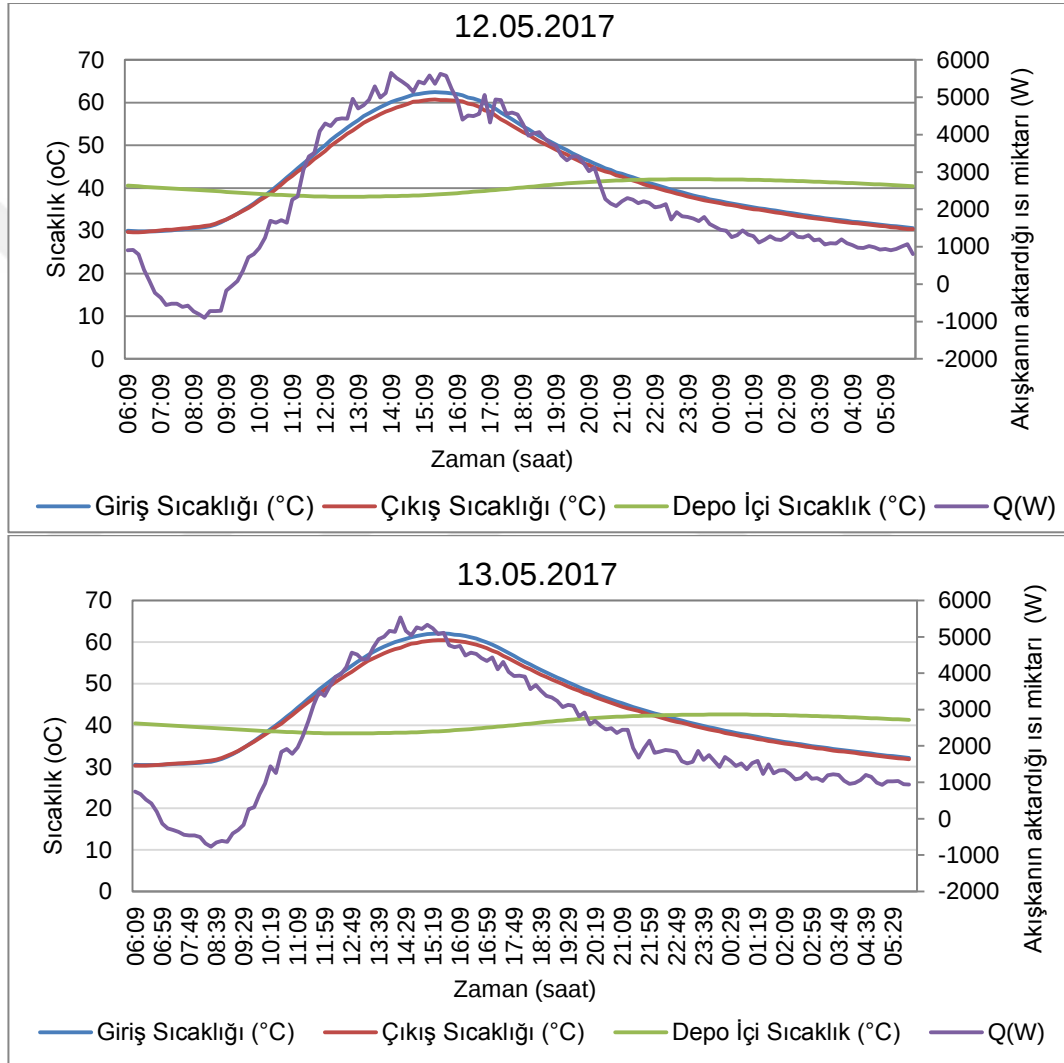


Şekil 4.3. 30 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler

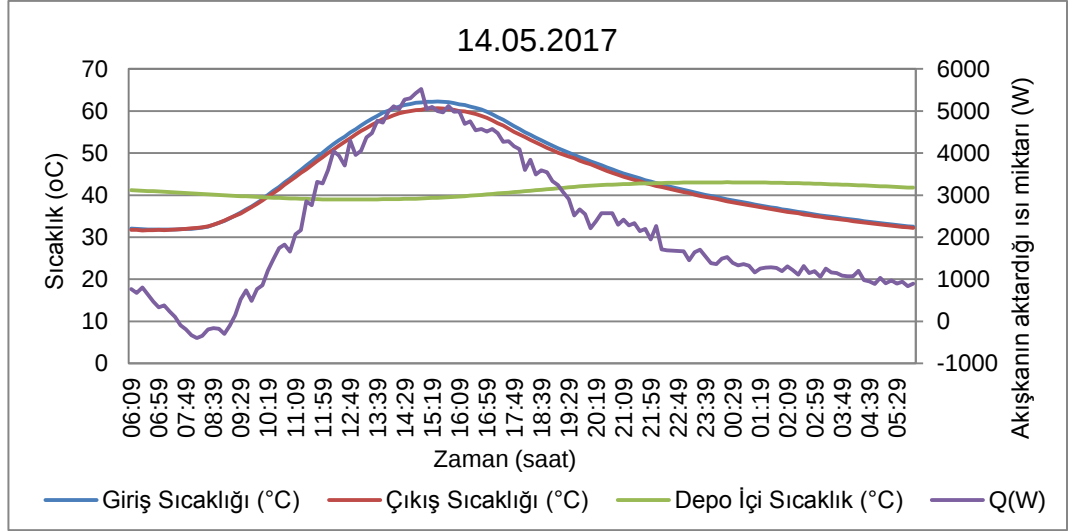
Aynı zamanda depoya giren su sıcaklığı çıkan su sıcaklığından daha düşük olduğu

yani sistemin ısı kaybettiği belirlenmiştir. Giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında fark bu debi kullanıldığında fazla olmuştur. Özellikle öğle saatlerinde yaklaşık 2 °C lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Bu sıcaklık farkından dolayı aktarılan ısı miktarının 15 L/dk'lık debide aktarılan ısıdan daha fazla çıkmıştır.

Su akış debisi 45 L/dk olarak ayarlanan sistemde 12-13 ve 14 Mayıs 2017 günlerine ait 10 dk aralıklarla yapılan ölçümlerin grafikleri Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.4. 45 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler



Şekil 4.5 (Devam). 45 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler

45 L/dk su akış debisinde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda aktarılan ısıнын giriş sıcaklığına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Toplaçlardan gelen suyun sıcaklık artışı tüm günlerde saat yaklaşık 9'dan sonra başlamaktadır. Bu artışı öğleden sonra saat 15'e kadar devam ettiği görülmektedir. Giriş sıcaklığının azalmaya başladığı saatlerde ise depo içerisindeki sıcaklığın artmaya başladığı görülmüştür. Gün boyunca depo içi sıcaklık değişiminin yaklaşık 5°C'lik bir aralıkta gerçekleştiği belirlenmiştir. Depo içi sıcaklığın en yüksek olduğu 42°C'ler gece yarısından sonra ölçülmüştür. Aynı zamanda depoya giren su sıcaklığının çıkan su sıcaklığından daha düşük olduğu yani sistemin ısı kaybettiği belirlenmiştir. Giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında fark bu debi kullanıldığında fazla olmuştur. Özellikle öğle saatlerinde yaklaşık 2 °C'lik sıcaklık farkı oluşmuştur. Bu sıcaklık farkından dolayı aktarılan ısı miktarı 15 L/dk'lık debi kullanıldığında elde edilen değerlerden çok daha fazla çıkmıştır. Fakat 30 L/dk'lık debide aktarılan ısı miktarı ile yaklaşık aynı olduğu belirlenmiştir.

4.2. Verilerin İstatistiksel Analizi

15, 30 ve 45 L/dk su akış debilerinin aktarılan ısı miktarına (Q_{su}) olan etkisi varyans analizi yapılarak istatistiksel olarak etkisinin önemli olup olmadığı belirlenmiştir. Analizde giriş çıkış sıcaklığı arasındaki farkın negatif olduğu ölçüm

değerleri (deşarj durumu) kullanılmamıştır. Ayrıca Duncan çoklu karşılaştırma testi ile debi değişiminin akışkanın aktardığı ısı miktarında istatistiksel olarak bir etkisinin olup olmadığı analiz edilmiştir. İstatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Su akış debisi ve aktarılan ısı (Q_{su}) arasındaki varyans analiz sonuçları

	N	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	95% Ortalama için Güven Aralığı		Minimum	Maksimum
					Alt sınır	Üst Sınır		
15,00	306	660,5263	491,11384	28,07511	605,2809	715,7717	2,09	1585,27
30,00	392	2339,9469	1495,98149	75,55848	2191,3952	2488,4987	54,34	5479,98
45,00	388	2626,3085	1598,21033	81,13684	2466,7843	2785,8327	9,40	5846,80
Total	1086	1969,0497	1572,39784	47,71419	1875,4272	2062,6722	2,09	5846,80

Q_{su}	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem
Gruplar Arasında	745480613,400	2	372740306,700	208,392	,0001
Gruplar İçerisinde	1937111318,000	1083	1788653,110		
Toplam	2682591931,000	1085			

Her bir su akış debisinde 300’ün üzerinde veri kullanılarak yapılan analiz sonucunda, 15 L/dk debide suya aktarılan ısıнын ortalama değerinin 660,5 W olduğu görülmüştür. Buna karşılık 30 ve 45 L/dk debilerde ölçülen akışkanın aktardığı ısı miktarının ortalamasının (2339,9 W ve 2626,3 W) birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda oluşan varyans analiz tablosuna bakıldığında da su akış debisi ile akışkanın aktardığı ısı miktarı arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Debi	N	Alfa için alt küme = 0.05		
		1	2	3
15,00	306	660,5263		
30,00	392		2339,9469	
45,00	388			2626,3085
Önem		1,000	1,000	1,000

Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçlarına göre akışkanın aktardığı ısı miktarına debiler arasındaki farkın etkili olduğu görülmüştür. Su akış debisinin değişmesinin aktarılan ısı miktarında değişime neden olduğu belirlenmiştir.

Su akış debisi, su giriş sıcaklığı ve aktarılan ısı arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan korelasyon analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Debi, giriş sıcaklığı ve aktarılan ısı arasındaki korelasyon analizi

		Giriş Sıcaklığı	Q_{su}	Debi
Giriş Sıcaklığı	Pearson Korelasyon	1	0,714**	-0,041
	Önem. (iki uçlu test)		0,000	0,182
	N	1086	1086	1086
Q _{su}	Pearson Korelasyon	0,714**	1	0,483**
	Önem. (iki uçlu test)	0,000		,000
	N	1086	1086	1086
Debi	Pearson Korelasyon	-0,041	0,483**	1
	Önem. (iki uçlu test)	0,182	0,000	
	N	1086	1086	1086

**, Korelasyon, 0,01 seviyesinde anlamlıdır (iki uçlu test).

Çizelge 4.3'deki sonuçlar incelendiğinde su giriş sıcaklığı ile aktarılan ısı miktarı arasında doğrusal güçlü bir ilişkinin olduğu (0,714) görülmektedir. Yani giriş sıcaklığındaki artış akışkanın aktardığı ısı miktarında bir artışa neden olmaktadır. Giriş sıcaklığı ve debi arasında çok zayıf ters bir ilişki (-0,041) olduğu belirlenmiştir. Su akış debisi ile akışkanın aktardığı ısı miktarı arasında orta şiddette doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.

İstatistiksel analizlerin son aşamasında, giriş sıcaklığı ve debi bağımsız değişkenleri ile akışkanın aktardığı ısı miktarı bağımlı değişkeni arasında matematiksel ilişkinin belirlenmesi amacıyla regresyon analizi yapılmıştır ve çoklu linner regresyon modeli oluşturulmuştur. Yapılan analizin sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Regresyon analizi sonuçları

		Standart Olmayan Katsayılar		Standart Katsayılar	t	Önem
Model		B	Std. Hata	Beta		
1	(Sabit)	-5081,410	118,670		-42,820	0,0001
	Giriş_Sıcaklığı	112,483	2,221	0,735	50,650	0,0001
	Debi	67,452	1,911	0,512	35,301	0,0001
Model	R	R²	Düzeltilmiş R²	Std. Tahmin Hatası		
1	0,879 ^a	0,772	0,772	751,05474		

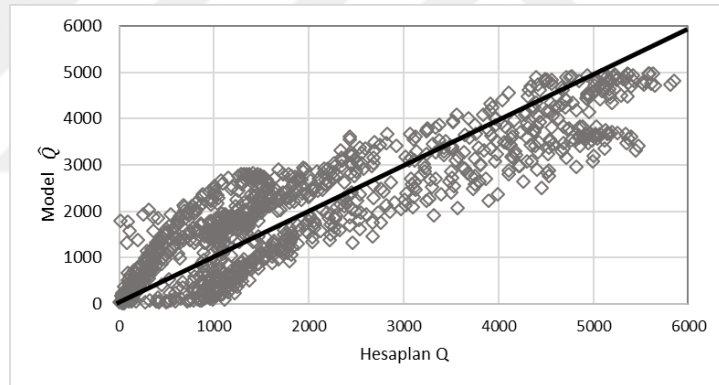
Regresyon analiz sonuçları incelendiğinde akışkanın aktardığı ısı miktarını veren çoklu lineer regresyon modeli aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$$\hat{Q} = (112,483 \times T_i) + (67,452 \times \dot{V}) - 5081,41$$

Burada;

- $\hat{Q}$: Akışkanın aktardığı ısı miktarının hesaplanan model değeri (W)
 T_i : Su giriş sıcaklığı (°C)
 $\dot{V}$: Su giriş debisi (L/dk)

Oluşturulan modelde bağımsız değişkenlerin yanıt değişkenindeki toplam değişimi yanıtlama oranı olan belirtme katsayısı (R^2) değeri 0,772 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan modeldeki $\hat{Q}$ değeri ile hesaplanan Q değeri arasındaki doğrusal ilişkinin gösterilmesi için saçılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.4). Grafikte de görüldüğü gibi oluşturulan model ile hesaplanan ısı aktarım değerleri arasındaki ilişki doğrusaldır.



Şekil 4.6. Model ve hesaplanan ısı aktarım değerleri arasındaki saçılım grafiği

4.3. Isı Depolama Miktarı ve Etkinliği

Sistemde ısı depolama materyali olarak kullanılan bazalt taşının ısı depolama miktarını ve sistemin depolama etkinliğini belirlemek için yöntem kısmında verilen denklemlerden yararlanılarak aşağıdaki değerler elde edilmiş ve Şekil 4.5.'de sütunsal grafik şeklinde sunulmuştur;

15 L/dk olarak ayarlanmış su akış debisi için bazalt taşının ısı depolama miktarı;

29.04.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (37,638 - 31,365) = 19289,48 \text{ kJ}$

30.04.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (38,709 - 33,220) = 16878,68 \text{ kJ}$

02.05.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (34,142-28,900) = 16119,15 \text{ kJ}$

$Ort_{15 \text{ L/dk}} = (19289,48+16878,68+16119,15) / 3 = 17429,10 \text{ kJ}$

15 L/dk olarak ayarlanmış akış debisi için suyun taşıdığı ortalama ısı = 40433,76 kJ

Sistemin depolama etkinliği $\eta = (17429,10 / 40433,76) \times 100 = \%43,11$

30 L/dk olarak ayarlanmış su akış debisi için bazalt taşının ısı depolama miktarı;

25.05.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (36,603-30,425) = 18997,35 \text{ kJ}$

26.05.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (39,183-33,619) = 17109,30 \text{ kJ}$

27.05.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (40,555-35,275) = 16236,00 \text{ kJ}$

$Ort_{30 \text{ L/dk}} = (18997,35+17109,30+16236,00) / 3 = 17447,55 \text{ kJ}$

30 L/dk olarak ayarlanmış akış debisi için suyun taşıdığı ortalama ısı = 183475,20 kJ

Sistemin depolama etkinliği $\eta = (17447,55/183475,20) \times 100 = \%9,50$

45 L/dk olarak ayarlanmış su akış debisi için bazalt taşının ısı depolama miktarı;

12.05.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (42,053-37,949) = 12619,80 \text{ kJ}$

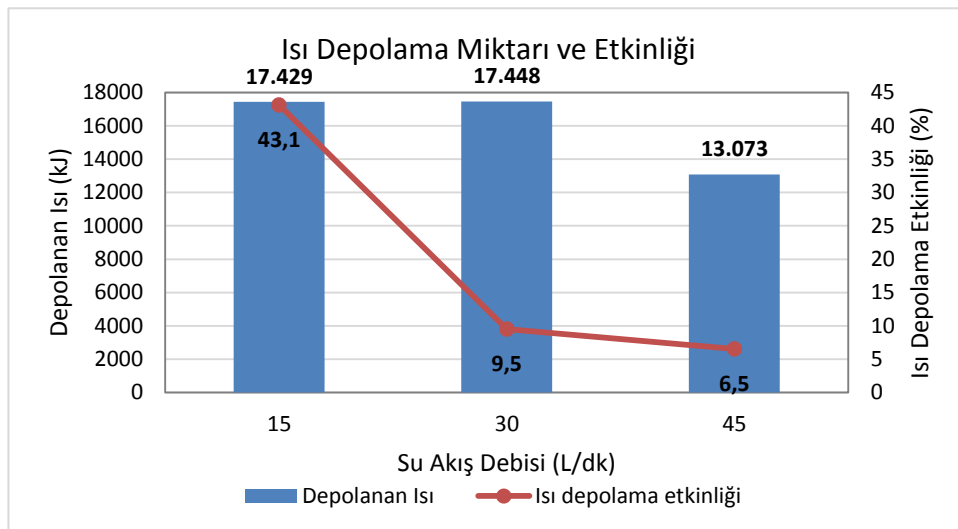
13.05.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (42,568-38,022) = 13978,95 \text{ kJ}$

14.05.2017 tarihinde; $2500 \times 1,23 \times (43,058-38,954) = 12619,80 \text{ kJ}$

$Ort_{45 \text{ L/dk}} = (12619,80+13978,95+12619,80) / 3 = 13072,85 \text{ kJ}$

45 L/dk olarak ayarlanmış akış debisi için suyun taşıdığı ortalama ısı = 200378,54 kJ

Sistemin depolama etkinliği $\eta = (13072,85/200378,54) \times 100 = \%6,52$



Şekil.4.5. Isı depolama miktarı ve etkinliğinin sütun grafiği

Debinin ısı depolama materyalinin ısı depolama miktarına etki ettiği yapılan denklemler ve grafikte gösterilmiştir. Buna göre ısı taşıyıcı akışkan debisinde ki artışın depolama materyalinin ısı depolama etkinliğini azalttığı görülmüştür.

4.4. Hacimsel Isı Kapasitesi

Hesaplanan ısı depolama miktarı ve ölçülen sıcaklık farkları kullanılarak elde edilen değerler aşağıda sunulmuştur (sistem hacmi 0.9 m^3 olarak alınmıştır);

15 L/dk olarak ayarlanmış su akış debisi için bazalt taşının hacimsel ısı kapasitesi;

$$29.04.2017 \text{ tarihinde; } 19289,48/0,9 \times (37,638-31,365) = 3418,30 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$30.04.2017 \text{ tarihinde; } 16878,68/0,9 \times (38,709-33,220) = 3416,73 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$02.05.2017 \text{ tarihinde; } 16119,15/0,9 \times (34,142-28,900) = 3417,97 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Ort.}_{15 \text{ L/dk}} = (3418,30 + 3416,73 + 3417,97) / 3 = 3417,66 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

30 L/dk olarak ayarlanmış su akış debisi için bazalt taşının hacimsel ısı kapasitesi;

$$25.05.2017 \text{ tarihinde; } 18997,35/0,9 \times (36,603-30,425) = 3416,79 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$26.05.2017 \text{ tarihinde; } 17109,30/0,9 \times (39,183-33,619) = 3417,07 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$27.05.2017 \text{ tarihinde; } 16236,00/0,9 \times (40,555-35,275) = 3416,66 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Ort.}_{15 \text{ L/dk}} = (3416,79 + 3417,07 + 3416,63) / 3 = 3416,83 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

45 L/dk olarak ayarlanmış su akış debisi için bazalt taşının hacimsel ısı kapasitesi;

$$12.05.2017 \text{ tarihinde; } 12619,80/0,9 \times (42,053-37,949) = 3417,22 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$13.05.2017 \text{ tarihinde; } 13978,95/0,9 \times (42,568-38,022) = 3417,83 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$14.05.2017 \text{ tarihinde; } 12619,80/0,9 \times (43,058-38,954) = 3417,22 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Ort.}_{45 \text{ L/dk}} = (3417,22 + 3417,83 + 3417,22) / 3 = 3417,42 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sistemin ortalama hacimsel ısı kapasitesi;

$$(3417,66 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C} + 3416,83 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C} + 3417,42 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}) / 3 = 3417,30 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Çizelge 4.5.'de verilen depolama materyallerinin hacimsel ısı kapasitesi miktarları incelendiği zaman $3417,30 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ değeri ile bazalt taşının depolama materyali olarak

en iyi depolama kapasitesine sahip materyallerden biri olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.5. Bazı materyallerin hacimsel ısı kapasitesi (E.T.B., 2017)

Materyal	Hacimsel Isı Kapasitesi (kJ/m³°C)
Alüminyum	2480
Meşe Odunu	1830
Takonit	2560
Beton	2120
Ateş Tuğlası	2200
Tuğla	1810
Dökme Demir	3880
Çakıl Taşı	3770
Granit	1890
Sıvı Sodyum	940
Molten Tuzu	2620
Su	4190

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Akışkanın aktardığı ısıнын giriş sıcaklığına bağlı arttığı görülmüştür. Giriş sıcaklığının azalmaya başlamasıyla depo içerisindeki sıcaklık artmaya başlamıştır. Tüm denemeler için depo içi sıcaklık artışı yaklaşık 4-6°C aralığında olmuştur. Sistemin ısı kaybetmeye başladığı zaman olan gece yarısından sonra depo içi sıcaklıklar yaklaşık 40 °C'leri görmüştür. Güneş ışınlarından daha fazla yararlanılan saatlerde; 30 ve 45 L/dk olarak belirlenen su akış debilerinde ki akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark neredeyse aynı olmuştur (yaklaşık 2 °C). Ancak aynı saatlerde 15 L/dk olarak belirlenen su akış debisinde, ısı taşıyıcı akışkanın depoya giriş ve çıkış sıcaklık farkı düşük olduğundan dolayı ısı taşıyıcı akışkanın aktardığı ısı miktarı belirlenen diğer iki su akış debisinde akışkanın aktardığı ısı miktarından düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Her bir su akış debisi için elde edilen verilerle yapılan istatistiksel analizler sonucunda 15 L/dk için aktarılan ısı değeri 660,5 W olarak hesaplanırken, 30 ve 45 L/dk'lık su akış debileri için akışkanın aktardığı ısı miktarı sırasıyla 2339,9 ve 2626,3 W olarak ölçülmüştür. Yapılan analizler sonucunda oluşturulan varyans analiz tablosu ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları incelendiği zamanda su akış debi miktarının artışıyla akışkanın aktardığı ısı miktarının da arttığı su akış debisinde oluşan farkın doğrudan aktarılan ısı miktarını etkilediği anlaşılmıştır.

Yapılan ölçümlerden elde edilen verilerle oluşturulan grafikler ve korelasyon analiz sonuçları incelendiğinde su giriş sıcaklığının aktarılan ısı miktarına doğrudan etki ettiği görülmüştür. İncelenen grafik ve analizlerde su giriş sıcaklığının artmasıyla aktarılan ısı miktarının da arttığı görülmüştür.

Giriş sıcaklığı ve debi bağımsız değişkenleri ile akışkanın aktardığı ısı miktarı bağımlı değişkeni arasında matematiksel ilişkinin belirlenmesi amacıyla regresyon analizi yapılmış ve matematiksel bir model oluşturulmuş ve bu oluşturulan model ile hesaplanan akışkanın aktardığı ısı miktarı arasında ki ilişki doğrusal çıkmıştır.

Farklı debilerde yapılan ölçümler sonucunda ısı depolama materyalinin depoladığı ısı miktarının sistemin debisine bağlı olduğu görülmüştür. Yapılan işlemler sonucunda ısı taşıyıcı akışkanın debisinin artışına bağlı olarak hem ısı depolama materyalinin ısı depolama miktarında hem de ısı depolama etkinliğinde azalmaya neden olmuştur. Bunun da nedeni ısı taşıyıcı akışkanın yüksek akış koşullarında depo ve depolama

materyalleri arasında daha hızlı dolaşıp daha az süre depo içerisinde bulunmasından dolayı akışkanın taşıdığı ısıyı etkin bir şekilde depolama materyaline aktaramamasından kaynaklandığı tahmin edilmiştir. Dolayısıyla buna benzer ısı depolama sistemlerinde su akış debisinin mümkün olduğu kadar düşük tutulmasının ısı depolama etkinliğini artıracığı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca çalışmada kullanılan bazalt taşının belirlenen hacimsel ısı kapasitesi ($3417,30 \text{ kJ/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$), literatürde verilen diğer depolama materyalleri ile karşılaştırıldığında çalışmada kullanılan bazalt taşının depolama materyali olarak kullanılabilirliğinin uygun olduğu belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Allen, K.G., von Backström, T.W., and Krögera, D.G., 2014. Packed rock bed thermal storage in power plants: design considerations. **Energy Procedia**, 49: 666-675.
- Allen, K.G., von Backström, T.W., Krögera, D.G., and Kisters, A.F.M., 2014. Rock bed storage for solar thermal power plants: rock characteristics, suitability, and availability, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 126: 170–183.
- Anonymous, 2017. Energy stored as sensible heat in materials. https://www.engineeringtoolbox.com/sensible-heat-storage-d_1217.html Erişim tarihi: 12.11.2017
- Arizov, A., Niyazov, S.K., 1980. Rock-bed as a heat storage material for greenhouse applications. **Applied Solar Energy**, 16:430–437.
- Ataer, O.E., 2006. Storage of thermal energy. (Y.A. Gogus, Editör). In: **Energy Storage Systems**. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) Publishers, 20 s, Oxford, UK, 2006.
- Atalay, H., Çoban, M.T., and Kıncay, O., 2017. Modeling of the drying process of apple slices: Application with a solar dryer and the thermal energy storage system. **Energy**, 134: 382-391.
- Ayensu, A., 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. **Solar Energy**, 59: 121–126.
- Boonsu, R., Sukchai, S., Hemavibool, S., and Somkun, S., 2016. Performance analysis of thermal energy storage prototype in Thailand. **Journal of Clean Energy Technologies**, 4(2):101-106.
- Bricault, M., 1982. Use of heat surplus from a greenhouse for soil heating. **Proceedings of the International Conference on Energex 82**: 564–568, Regina.
- Chen, W., and Liu, W., 2004. Numerical and experimental analysis of convection heat transfer in passive solar heating room with greenhouse and heat storage. **Solar Energy**, 76: 623-633.
- Coutier, J.P., and Farber, E.A., 1982. Two application of a numerical approach of heat transfer process within rock beds, **Solar Energy**, 29: 451–462.
- Didinmez, İ., 2013. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji teşvikleri. **Vergi Sorunları Dergisi**, 292: 135-145.
- Dinçer, İ., 2002. The Role of Exergy in Energy Policy Making, **Energy Policy**, 30:137-149.
- Dinçer, İ., and Rosen, M.A., 2011. Thermal Energy Storage: Systems and Applications. **John Wiley & Sons**, 621 s, UK.
- Eppelbaum, L., Kutasov, I., Pilchin, A., 2014. Thermal Properties of Rocks and Density of Fluids. **Applied Geothermics**: 99-149
- Erregueragui, Z., Boutammachte, N., Bouatem, A., Merroun, O., and Zemmouri, E.M, 2016. Packed-bed Thermal Energy Storage Analysis: Quartzite and Palm-Oil Performance. **Energy Procedia** 99: 370 – 379.
- Griratea, H., Zaria, N., Elamrani, I., Couturier, R., Elmchaouri, A., Belcadi, S., and Tochon, P., 2014. Characterization of several Moroccan rocks used as filler material for thermal energy storage in CSP power plants. **Energy Procedia**, 49: 810-819.
- Günerhan, H., 2008. Duyulur Isı Depolama ve Bazalt Taşı. **TMMOB Dergisi Makale**.

- Hänchen, M., Brückner, S., and Steinfeld, A., 2011. High-temperature thermal storage using a packed bed of rocks - Heat transfer analysis and experimental validation. **Applied Thermal Engineering**, 31: 1798-1806.
- Hasnain, S.M., 1998. Review on sustainable thermal energy storage technologies. Part 1. Heat storage materials and techniques. **Energy Converse Manager**, 39(11):1127-38.
- Huang, B.K., Ozisik, M.N., Toksoy, M., 1981. Development of greenhouse solar drying for farm crops and processed products. **AMA (Japan)**, 12 (1): 47-52.
- Jemmala, Y., Zari, N., and Maaroufi, M., 2017. Experimental characterization of siliceous rocks to be used as filler materials for air-rock packed beds thermal energy storage systems in concentrated solar power plants. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 171: 33-42.
- Khare, S., Dell'Amico, M., Knight, C., and McGarry, S., 2013. Selection of materials for high temperature sensible energy storage. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 115: 114-122
- Kozak, M., ve Kozak, Ş., 2012. Enerji Depolama Yöntemleri. **SDU International Journal of Technologic Science**, 4 (2): 17-29.
- Kum, H., 2009. Yenilenebilir enerji kaynakları: dünya piyasalarındaki son gelişmeler ve politikalar, **Erciyes Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 33: 207-223.
- Kürklü, A., Bilgin, S., ve Özkan, B., 2003. A study on the solar energy storing rock-bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse. **Renewable Energy**, 28:683-697.
- Li, G., 2016. Sensible heat thermal storage energy and exergy performance evaluations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 53: 897-923.
- Mawire, A., McPherson, M., van den Heetkamp, R.R.J., and Mlatho, S.J.P., 2009. Simulated performance of storage materials for pebble bed thermal energy storage (TES) systems. **Applied Energy**, 86: 1246-1252.
- Mohammed, H.A., 1998. Investigation of an inexpensive solar collector storage system. **Energy Converse Manager**, 39(5-6):415-20.
- Ökten, K., ve Özdemir, M., 2016. Isı geri kazanımı ve depolanmasında sıcaklık farklarının korunması için cam yünü ile donatılı tankların ısıl incelenmesi. **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 20 (2):291-299.
- Özer, Y.E., 2016. Türkiye'nin yenilenebilir ve temiz enerji konusunda A.B.D, Çin ve Avrupa Birliği ile karşılaştırmalı analizi. **Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 9 (1): 137- 155.
- Öztürk H.H., 2012. Antalya İklimi Koşullarında Sera Isıtma Amacıyla Güneş Enerjisinin Duyulur Isı Olarak Depolanması İçin Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi. **Tesisat Mühendisliği**, ss.38-50.
- Öztürk, H.H., 2015. Isı Enerjisi Depolama. **Umuttepe Yayınları**, 166 s, İstanbul.
- Öztürk, H.H., Başçetinçelik, A., 2003. Energy and exergy efficiency of a packed-bed heat storage unit for greenhouse heating. **Biosystems Engineering**, 86 (2), 231-245.
- Paksoy, H.Ö., Evliya, H., Turgut, B., Mazman, M., Konuklu, Y., Gök, Ö., Yılmaz, M.Ö., Yılmaz, S., Beyhan, B., Ve Şahan, N., 2009. Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Enerji İle Değerlendirilmesi. **Türkiye 11. Enerji Kongresi**, 21-23 Ekim, 2009, İzmir.
- Santamouris, M., Balaras, C.A., Dascalaki, E., Vallindras, M., 1994. Passive solar agricultural greenhouses: a worldwide classification and evaluation of

- technologies and systems used for heating purposes. **Solar Energy**, 53(5):411–26.
- Schlipfa, D., Schicktanza, P., Maiera, and H., Schneidera, G., 2015. Using sand and other small grained materials as heat storage medium in a packed bed HTTESS. **Energy Procedia**, 69: 1029-1038.
- Sethi, V.P., Sharma, S.K., 2008. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. **Solar Energy**, 82: 832–859.
- Squalli, J., 2017. Renewable energy, coal as a baseload power source, and greenhouse gas emissions: Evidence from U.S. state-level data. **Energy**, 127: 479-488.
- Tekkurşun, N., Yavrucuk, Z., Özbek, M.Ö., ve Küçükada, K., 2010. Duyulur Isının Depolandığı Dolgulu Yataklı Bir Isı Deposunun Dinamik Davranışının İncelenmesi. **UKMK 9**, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Tiskatinea, R., Oaddia, R., El Cadia, R.A., Bazgaoua, A., Bouirdena, L., Aharounea, A., Ihlal, A., 2017. Suitability and characteristics of rocks for sensible heat storage in CSP plants. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 169: 245-257.
- Uzun, M.H., 2010. Güneş Enerjisi Depolama Olanakları Ve Bir Yöntemin Değerlendirilmesi. **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi**
- Warkhade, G.S., Babu, A.V., Mane, S., and Babu, K.G., 2016. Experimental investigation of sensible thermal energy storage in small sized, different shaped concrete material packed bed. **World Journal of Engineering**, 13 (5): 386-393.
- Yaşar, E., ve Erdoğan, Y., 2001. Toprakale Bazaltının Doğal Taş Endüstrisindeki Yeri. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye.
- Yılmaz M.Ö., 2005. Yeraltı termal enerji depolamada kullanılan farklı dolgu maddelerinin termal özelliklerinin araştırılması. **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi**.
- Yılmaz Ö.B., 2017. <http://www.ekonomist.com.tr/enerji/enerjide-yatirimlar-yenilenebilir-yoneldi.html> (Erişim tarihi: 5.11.2017)
- Yılmazoğlu, M.Z., 2010. Isı enerjisi depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması, **Politeknik Dergisi**, 13 (1): 33-42.
- Zanganeh, G., Commerford, M., Haselbacher, A., Pedretti, A., Steinfeld, A., 2014. Stabilization of the outflow temperature of packed-bed thermal energy storage by combining rocks with phase change materials. **Applied Thermal Engineering**, 70: 316-320.
- Zanganeh, G., Pedretti, A., Zavattoni, S., Barbato, and M., Steinfeld, A., 2012. Packed-bed thermal storage for concentrated solar power Pilot-scale demonstration and industrial-scale design. **Solar Energy**, 86: 3084–3098

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1990 yılında Adana ilinin Seyhan ilçesinde doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi Adana’da tamamladı. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü’nü 2010 yılında kazandı. Üniversiteden 2014 yılında mezun oldu. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Eylül 2014 tarihinde Yüksek Lisans öğrenimine başlamış olup ve halen devam etmektedir. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümünde Kasım 2017 tarihinde Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış ve halen devam etmektedir.

