

# FARKLI DUYULUR ISI DEPOLAMA MADDELERİNİN DEŞARJ PERİYODUNA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Berrin YILMAZ<sup>1\*</sup>, Evren OSMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Saygın Makina Tesisat San. Ve Tic. Ltd. Şti., Merkez / Edirne, TÜRKİYE

**Makale Künye Bilgisi:** Yılmaz, B., Osma, E. (2023). Farklı Duyulur Isı Depolama Maddelerinin Deşarj Periyoduna Etkilerinin Deneysel Araştırılması, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 24(2), 39-47

## Öne Çıkanlar

- Isıl enerji depolama, enerjinin korunumu ve verimli kullanılabilmesi için önemlidir.
- Su ve nanoakışkan bünyesinde ısı depolama yapıldığında, kullanım suyuna aktarılabilen ısı, gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksektir.
- Su ve nanoakışkan için depolama ünitesi merkezi sıcaklıkları, gliserin ve ısı transfer yağına göre çok daha düşüktür.

Makale Bilgileri	Öz
<b>Makale Tarihiçesi:</b> Geliş: 20 Ekim 2023 Kabul: 11 Aralık 2023	Enerji depolanması, yeryüzünde mevcut olan fosil temelli enerji kaynaklarının artan endüstriyelikle birlikte hızlıca ve kontrolsüzce tüketilmesi sonucu ciddi boyutlara ulaşan bir enerji krizi nedeni ile önemli hale gelmiştir. Enerji; mekanik, kimyasal, biyolojik, manyetik ve termal (ısı) enerji olarak depolanabilmektedir. Isıl enerji depolama, enerjinin korunumu ve verimli kullanılması için önemli teknolojiler arasında yer almaktadır. Düşük sıcaklıklı ısı üretimi, depolanması ve binalarda kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını temin üzere bir ısıtma sistemi tasarlanmış ve çeşitli deneyler yürütülmüştür. Bu çalışmada; ısı enerji depolama ünitesine ayrı ayrı yerleştirilmiş olan dört duyulur ısı depolama maddesinin (su, gliserin, sentetik yağ ve alümina) enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı dönemlerde deşarj periyotlarındaki deneysel sonuçları verilmiştir. Bu amaçla, 1.2 l/dk kullanım suyu musluk debisi değerinde; ısı depolama ünitesinden çekilen ısıların, depolama ünitesinden çevreye olan ısı kayıplarının, kullanım suyu çıkış sıcaklıklarının, depo merkezi sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Enerji; Duyulur Isı Depolama; Deşarj Periyodu.	

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT SENSIBLE HEAT STORAGE MATERIALS ON DISCHARGE PERIOD

Article Info	Abstract
<b>Article History:</b> Received: October 20, 2023 Accepted: December 11, 2023	Energy storage has become important due to an energy crisis that has reached serious dimensions as a result of rapid and uncontrolled consumption of fossil-based energy resources which are available on earth with increasing industrialization. Energy can be stored as mechanical, chemical, biological, magnetic and thermal energy. Thermal energy storage is one of the important technologies which takes place for the conservation and efficient use of energy.
<b>Keywords:</b> Energy; Sensible Heat Storage; Discharge Period.	A heating system was designed for low-temperature heat generation, storing low-temperature heat and supplying hot water needed for domestic use and certain experiments were carried out. In this study, the experimental outcomes (results) of four sensible heat storage materials (water, glycerol, synthetic oil and alumina) which took place separately in a thermal energy storage unit were given during discharge periods when the energy source could not be sufficient for the energy need. For this purpose, at a tap flow rate of 1.2 l/min, the changes in the heat amounts drawn out of heat storage unit, heat losses from the heat storage unit to the ambient air, the changes of the domestic water outlet temperatures, central temperatures in the heat storage unit were evaluated comparatively.

## 1. Giriş

Günümüzde enerjiyle ilgili birçok araştırma ve geliştirme çalışmaları enerjinin korunumu, verimli enerji kullanımı ve enerji tasarrufu üzerinde yoğunlaşmıştır. Enerjinin üretimi kadar gerektiği anda hazır halde kullanılacak şekilde depolanması da önemlidir. Enerjiyi istediğimiz zaman kullanabilmek için onu saklamaya enerji depolama denir. Böylelikle, güneş enerjisi gibi yalnız belirli zamanlarda enerji verebilen yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji üretimi ile talebi arasında doğabilecek fark giderilebilir ve yardımcı enerji kaynağına duyulan ihtiyaç azaltılabilir.

Enerji depolama yöntemlerinden birisi olan ısı enerji depolama, enerjinin korunumu ve enerjinin verimli kullanılması için önemli teknolojilerden birisidir ve duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama, termokimyasal ısı depolama olmak üzere genel hatlarıyla üç ana başlıkta toplanmaktadır. Isıtma ve soğutma uygulamalarına uygun olması ana avantajlarından birisidir.

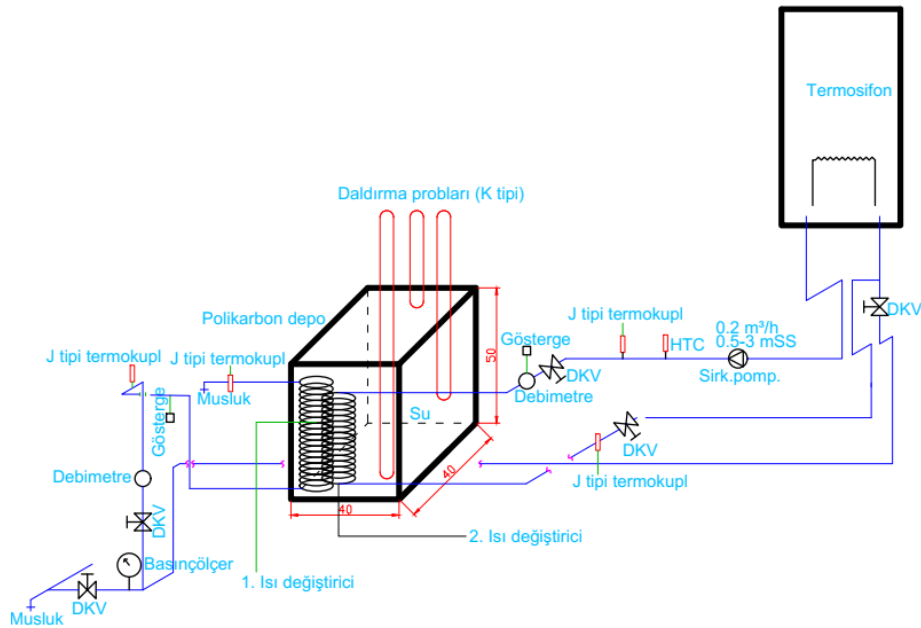
Literatürde, ısı enerji depolamaya yönelik olarak pek çok çalışma mevcuttur. Karaçavuş ve Can (2010), Edirne iklim şartlarında, mahal ısıtması ve kullanım amaçlı sıcak su temini için güneş enerjisinin toprak altında duyulur ısı olarak mevsimlik depolandığı bir ısıtma sistemi ile deneysel çalışmalar yapmıştır. Toplam ısı ihtiyacının %69 ısıtma sisteminden karşılanmıştır. Gao vd. (2020), su ve parafin (RT55) aracılığıyla, iki sıcak su tankının deşarj ve şarj döngüleri durumunda gizli ve duyulur ısı depolayabilme kapasitesini araştırmıştır. Araştırma sonucunda duyulur ısı depolama açısından, suyun duyulur ısı depolama kapasitesinin parafine göre gözle görülür ölçüde daha iyi olduğu saptanmıştır. Meister ve Beausoleil-Morrison (2021), Kanada'daki bir konutun ısıtma ve de sıcak su gereksinimini karşılamak için güneş enerjisinin mevsimlik depolandığı bir ısıtma sistemi ile deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneysel

sonuçları; konutun ısıtma ve sıcak su gereksiniminin %68'ini karşılayabildiğini ortaya koymuştur. Khair ve Duwairi (2021), yaptıkları bir araştırmada, doymuş bir gözenekli ortama gömülü hâlde bulunan  $Al_2O_3$ 'ün grafitle oluşturduğu yapıyı (nanoakışkan) vakum tüplü güneş kolektöründe ısı depolama açısından teorik olarak ele almıştır. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre; aynı koşullar altında bulunan saf suya oranla nanoakışkan kullanımı kolektörün ısı performansını ciddi derecede arttırmıştır. Lugolole vd. (2019), içinde ayçiçeği yağı ve iki farklı boyutta (10,5 mm ve 31,9 mm çaplı) çakıl taşları bulunan bir ısı enerji depolama tankında, deşarj periyoduna bağlı olarak duyulur ısı enerjideki değişimleri farklı debilerde incelemiştir. Araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlara göre; özellikle ekserji bağlamında, büyük boyuttaki çakıl taşlarının hangi debide olursa olsun çok daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir. Ahmed vd. (2019), duyulur-gizli ısı birleşik bir ısı enerji depolama sistemi tasarlamış ve bu sistemin orta sıcaklık uygulamalarında ısı ve ekonomik değerlendirmesini nümerik açıdan ele almıştır. Nümerik çalışma sonuçlarına göre; birleşik ısı enerji depolama sistemini, optimum performans ve maliyet açısından göz önüne alınan geleneksel sistemlere göre daha uygulanabilir bir seçenek olarak belirlemişlerdir. Ndukwa vd. (2020), hem rüzgâr gücü ve güneş enerjisi destekli bir kurutucuda hem de sadece güneş enerjisi destekli bir kurutucuda patates dilimlerini kurutmaya yönelik bir deney gerçekleştirmiştir. Her iki kurutucu da ısı enerji depolama maddesi olarak gliserinle ve de gliserinsiz olarak ayrı ayrı teste tâbi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre gliserin bir ısı enerji depolama maddesi olarak, özellikle rüzgâr gücüyle birlikte kullanıldığında kurutma süresini ciddi ölçüde kısaltmıştır. Kalaiarasi vd. (2020), yüksek kalitedeki sentetik bir yağ olan Therminol-55'in ısı depolama etkilerini araştırmak amaçlı bir deney yapmıştır. Bunun için yeni tipte düzlemsel havalı bir güneş kolektörü söz konusu sentetik yağla değişik hava debilerinde ve geleneksel

düzlemsel havalı bir güneş kollektörü de sentetik yağ kullanılmadan, yani ısı enerjisi depolama maddesi olmadan iki ayrı deneye tâbi tutulmuştur. Böylece araştırmacılar her iki kollektör arasında bir karşılaştırma yapma fırsatı bulmuştur. Karşılaştırma sonuçlarına göre Therminol-55'in kullanıldığı deneylerde, hava debisi 0.017 kg/s'den 0.028 kg/s'ye çıkartıldığında güneş kollektörünün verimi gün içerisinde bir pik noktaya (%70.8) ulaşmıştır. Lotfi vd. (2021) yaptıkları deneysel bir çalışmada gliserini çeşitli nanoparçacıklarla (CuO-Cu<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, grafen) süspansiyon oluşturacak şekilde çeşitli derişimlerde karıştırmıştır. Deneysel çalışma sonucunda gliserin-CuO-Cu<sub>2</sub>O ve gliserin-grafen süspansiyonları ısı iletkenlik bakımından gözle görülür bir iyileşme sergilerken; gliserin-SiO<sub>2</sub> süspansiyonu ısı iletkenlik açısından ciddi bir etki sağlayamamıştır. Khair ve Duwairi (2021), yaptıkları bir araştırmada, doymuş bir gözenekli ortama gömülü hâlde bulunan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün grafitle oluşturduğu yapıyı (nanoakışkan) vakum tüplü güneş kollektöründe ısı depolama açısından teorik olarak incelemiştir. araştırmada elde edilen sonuçlara göre; aynı koşullar altında bulunan saf suya oranla nanoakışkan kullanımı kollektörün ısı performansını

ciddi derecede arttırmıştır. Lentswe vd. (2022), güneş ışığının olmadığı saatlerde hem ısı enerjisi depolayıcı hem de ocak olarak görev yapan bir güneş ocağının şarj ve deşarj periyotlarındaki durumlarını deneysel olarak incelemiştir. Deşarj periyodunda; değişik debi değerlerinde suyun, ayçiçeği yağına göre ortalama enerji ve ekserji oranları olarak daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Düşük sıcaklıklı ısı üretimi, depolanması ve binalarda kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını temin etmek üzere bir ısıtma sistemi tasarlanmış ve çeşitli deneyler yürütülmüştür. Bu çalışmada; ısı enerjisi depolama ünitesine ayrı ayrı yerleştirilmiş olan dört duyulur ısı depolama maddesinin (su, gliserin, sentetik yağ ve alümina) enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı dönemlerde deşarj periyotlarındaki deneysel sonuçları verilmiştir. Bu amaçla 1,2 l/dk kullanım suyu musluk debisi değerinde; ısı depolama ünitesinden çekilen ısıların, depolama ünitesinden çevreye olan ısı kayıplarının, kullanım suyu çıkış sıcaklıklarının, depo merkezi sıcaklığının depolama maddelerine göre deşişimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Deneysel tesisatın şematik gösterimi

## 2. Gereç ve Yöntem

Düşük sıcaklıklı ısı üretimi, depolanması ve binalarda kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını temin etmek üzere bir ısıtma sistemi tasarlanmış ve çeşitli deneyler yürütülmüştür.

### 2.1. Deney Tesisatı

Deney tesisatında; ısı değiştiricilerden geçen su debisini ayarlamak için dört DKV (debi kısma vanası), bir termosifon, depolama ünitesi olarak içinde ısı değiştiricileri muhafaza eden bir solid polikarbon depo, biri termosifondan depolama ünitesine ısı aktarımı için diğeri de depolama ünitesinden kullanım suyuna ısı aktarımı için iki ısı değiştiricisi, bir basınçölçer, bir HTC (hava tahliye cihazı), kullanım suyu elde etmek için bir musluk, ısı değiştiricilerdeki debileri tespit edebilmek için iki debimetre ve bunlara ait göstergeler ile yedi termokupl ile bir de sirkülasyon pompası bulunmaktadır (Şekil 1) Osma (2023).

Isı depolama ünitesi 400mm×400mm×500mm boyutlarında olup 8 mm kalınlığında solid polikarbon üretilmiş ve ısı iletim katsayısı, 0,18 W/mK'dir. Termosifon, 65 l su kapasitesine sahip olup Demirdöküm markasının DT 3 modelidir.

Deneylerde, çeşitli boyutlarda ve K tipi ve J tipi olmak üzere ORDEL marka termokupllar kullanılmıştır. Termokuplların elemanları NiCr-Ni'den meydana gelmiş olup, termokupllar mineral izolelidir. Termokuplların dış koruyucu çapı 3 mm'dir ve kablo boyu da 3 m'lik silikondan oluşmaktadır.

Termosifondan ısı depolama ünitesine ısı aktarımında iç çapı 6,54 mm ve dış çapı 7,94 mm bakır borulardan oluşan bir ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Isı değiştiricisi, sarım çapı 350 mm olmak üzere 20 sarımdan ve 400 mm yükseklikten oluşmaktadır. Aracı akışkan olan suyu sirküle ettirebilmek için üç güç kademesi içeren, maksimum 110°C'ye kadar akışkan pompalayabilen,

50 Hz frekansında çalışan bir sirkülasyon pompası kullanılmıştır.

Kullanım suyu, iç çapı 6.54 mm ve dış çapı da 7.94 mm olan bir ısı değiştiricisi aracılığı ile ısılmıştır. Bu ısı değiştiricisi sarım çapı 350 mm olmak üzere 20 sarımdan oluşmaktadır ve yüksekliği 400 mm'dir.

Güneş kolektörlerinde, ısı aktarımı için aracı akışkan olarak deneysel çalışmalarda sıklıkla kullanılan maddelerin, depolama ünitesi içinde depolama kapasitesi araştırılmak üzere yapılan deneylerde ısı depolama maddesi olarak sırası ile su, nanoakışkan, gliserin ve ısı transfer yağı seçilmiştir Osma (2023). Nanoakışkanı meydana getiren nanoparçacık olarak; ekonomik, deneysel çalışmalarda sıklıkla kullanılan ve stabilitesi kuvvetli (uzun süre kararlılığını koruyabilen) bir nanoparçacık olduğundan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tercih edilmiştir. Safılık oranı %99,9 olan 40mmboyutundaki küresel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacığı hacimsel olarak %1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanı elde edilmesinde kullanılmıştır.

### 2.2. Deneyler

Enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı dönemlerde bir ısı depolama ünitesinin deşarj periyodunu araştırmak üzere deneyler yapılmıştır. Her bir depolama maddesi için eşit şartlarda deneyler yapabilmek için başlangıçta termosifon aracılığıyla depolama ünitesi merkezi sıcaklığı 60°C'ye çıkarılmış ve sistem termosifon tarafından ısı depolama ünitesine ısı girişine kapatılmıştır Osma (2023). Sonrasında kullanım suyu musluğu açılmış ve her bir depolama maddesi için 1,2 l/dk kullanım suyu musluk debisi değerleri altında 29 (yirmi dokuz) dakikalık süreçte depolama ünitesi içerisindeki sıcaklıklarla beraber kullanım suyu sıcaklığının bu süreçte değişimi birer dakikalık zaman aralıklarıyla kayıt altına alınmıştır.

### 2.3. Isı Depolama Ünitesinin Enerji Dengesi

Deney tesisatında bulunan ısı depolama ünitesinin genel enerji dengesi aşağıdaki gibi verilebilir (Şekil 2) Osmalı (2023).

$$\dot{Q}_{dep}(t) = \dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t) \quad (1)$$

Eşitlikte;  $\dot{Q}_{gir}(t)$  depolama ünitesine ısı taşıyıcı ile aktarılan ısı gücü (kW),  $\dot{Q}_{kul}(t)$  depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen ısı gücü (kW),  $\dot{Q}_{kay}(t)$  depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısı gücü (kW) ve  $\dot{Q}_{dep}(t)$  depolama ünitesinde depo edilen ısı gücü (kW) ifade etmektedir.

Belirli bir zaman aralığında ısı depolama ünitesinin enerji dengesi Eşitlik 2’de verilmiştir.

$$\sum_{t=t_0}^{t=t} m_d C_{p,d} dT_d = \int_{t_0}^t [\dot{Q}_{gir}(t) - \dot{Q}_{kul}(t) - \dot{Q}_{kay}(t)] dt \quad (2)$$

Eşitlikte;  $m_d$  depolama ünitesi içindeki duyulur ısı depolama maddesinin kütesini (kg),  $C_{p,d}$  depolama ünitesi içindeki duyulur ısı depolama maddesinin özgül ısısını (kJ/kgK),  $T_d$  depolama ünitesi içindeki duyulur ısı depolama maddesinin ortalama sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı deşarj periyodu için ısı depolama ünitesine giren ısı gücü  $\dot{Q}_{gir}(t) = 0$  dır.

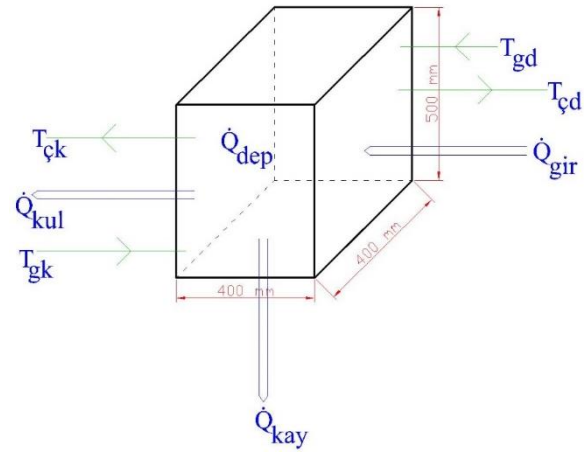
Depolama ünitesinden sıcak su kullanımı ile çekilen ısı gücü;  $\dot{m}_{kul}$  kullanım suyunun kütesel debisini (kg/s),  $C_{p,kul}$  kullanım suyunun özgül ısı değerini (kJ/kgK),  $T_{çk}$  kullanım suyunun depolama ünitesinden çıkış sıcaklığını (°C) ve  $T_{gk}$  de kullanım suyunun depolama

ünitesine giriş sıcaklığını (şebeke suyu sıcaklığı) (°C) simgelemek üzere Eşitlik 3 ile verilmiştir.

$$\dot{Q}_{kul}(t) = \dot{m}_{kul} C_{p,kul} [T_{çk}(t) - T_{gk}(t)] \quad (3)$$

Depolama ünitesinden çevresine olan kayıp ısı gücü;  $U_d$  depo içerisindeki toplam ısı transfer katsayısı (W/m²K),  $A_d$  depo yüzey alanı (m²),  $T_d$  depo içerisindeki depolama maddesinin ortalama sıcaklığı (°C),  $T_{çev}$  çevre (ortam) sıcaklığı (°C) olmak üzere aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir.

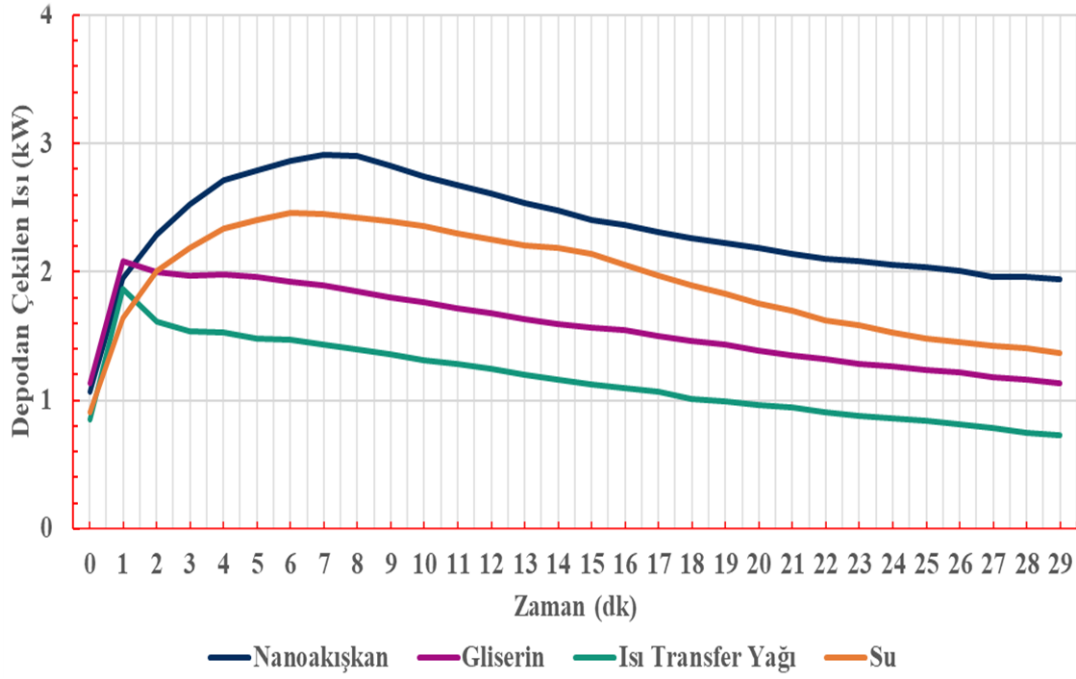
$$\dot{Q}_{kay}(t) = U_d A_d [T_d(t) - T_{çev}(t)] \quad (4)$$



Şekil 2. Isı depolama ünitesi genel enerji dengesi

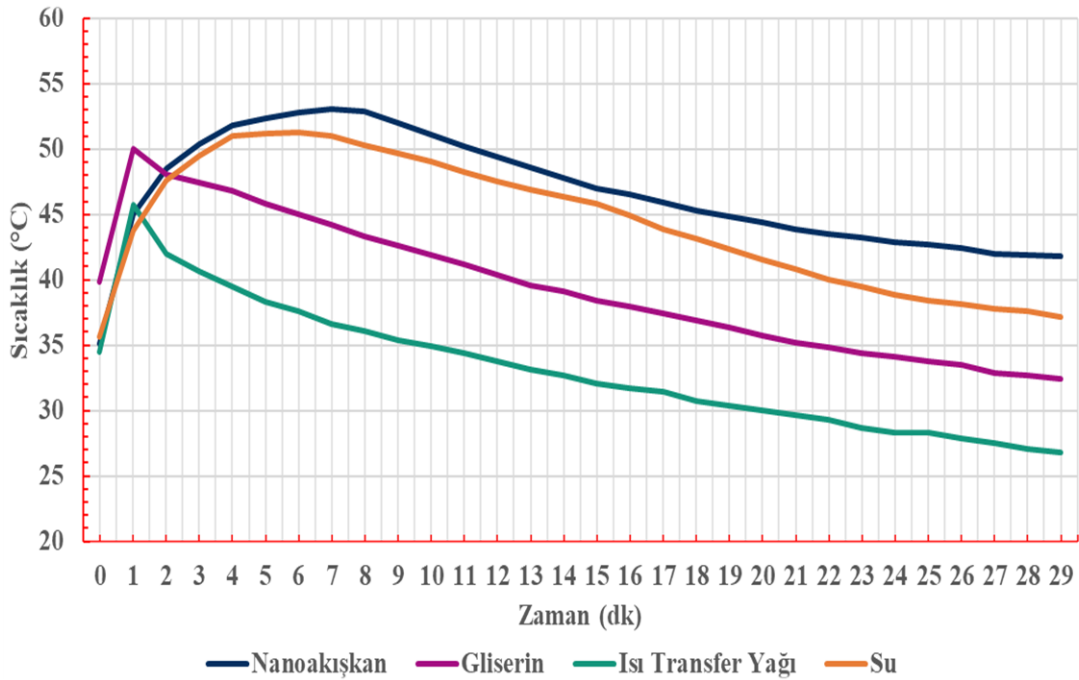
### 3. Bulgular ve Tartışma

Ölçüm değerleri ve bu değerler yardımı ile her bir depolama maddesi için kullanım suyu ile ısı depolama ünitesinden çekilen ısılar hesaplanmıştır (Şekil 3). Şekilden görüldüğü üzere, depolama maddesi nanoakışkan ve su olduğunda; depolama ünitesinden çekilen ısı, diğer iki depolama maddesine göre daha yüksek değerdedir. Bu; ısı depolama ünitesi içindeki depolama maddelerinin ısı yayılım ve ısı iletim katsayılarının sonucudur. Nanoakışkanın ısı yayılım ve ısı iletim katsayısı en yüksek değerdedir. Sözü geçen değerlerin sıralaması su, gliserin ve yağdadır.



Şekil 3. 1,2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çekilen ısı

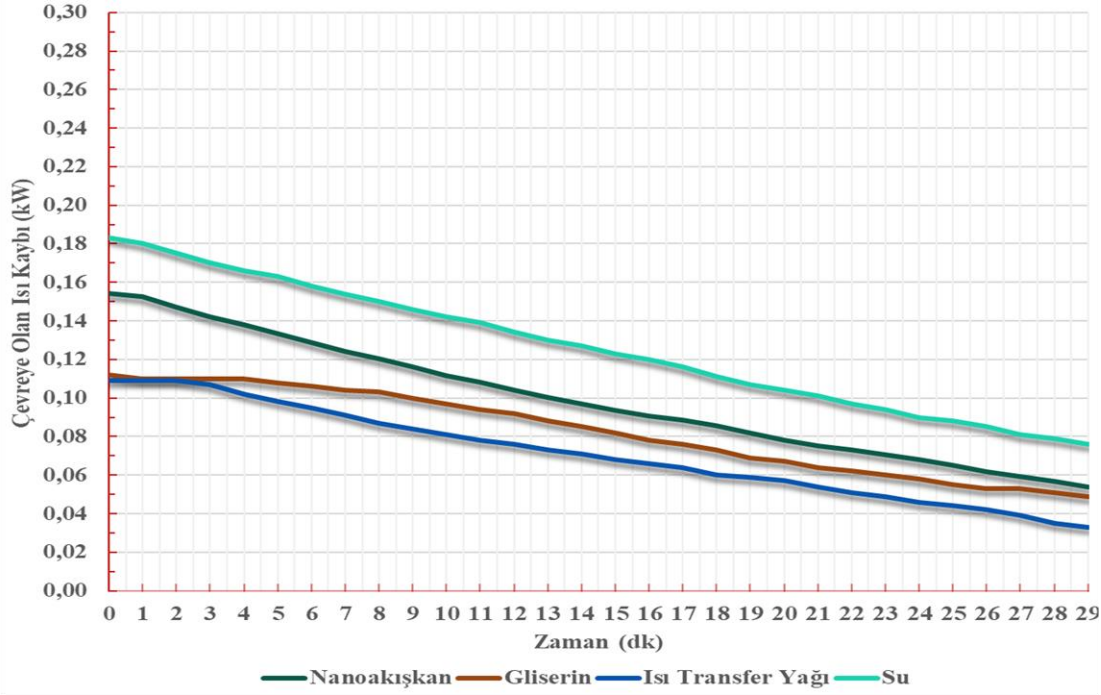
Kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama debisinde, ilgili deney boyunca kullanım suyu çıkış maddelerine göre değişimi Şekil 4'de, verilmiştir. sıcaklığı açısından nanoakışkandan yararlanmak diğer Şekilden görüldüğü üzere 1,2 l/dk'lık musluk depolama maddelerine göre daha avantajlıdır.



Şekil 4. 1,2 l/dk kullanım suyu musluk debisinde kullanım suyu çıkış sıcaklığının depolama maddelerine göre değişimi

Depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybı, her depolama maddesine özgü deney boyunca değişimi Şekil 5.'de verilmiştir. İlgili şekle göre; suyun ve nanoakışkanın kullanıldığı deneylerde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybı diğer iki depolama maddesine göre daha yüksektir. Bu beklenen bir sonuç olmuştur zira su ve nanoakışkanın ısı iletim ve ısı yayılım katsayıları ısı transfer yağı ve gliserine göre

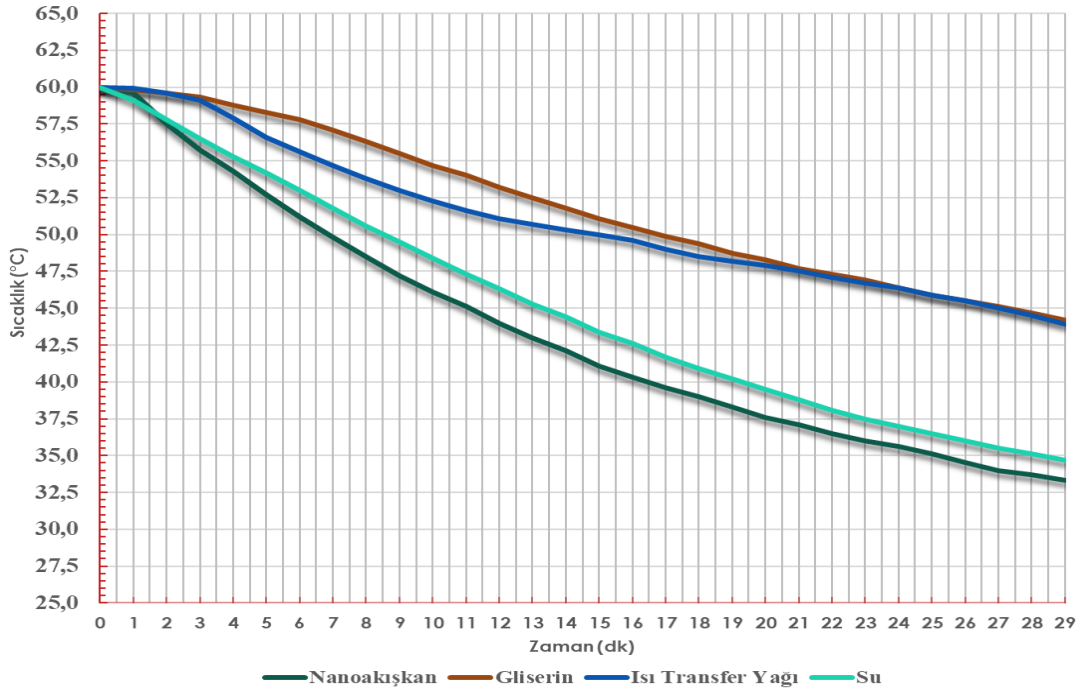
daha yüksektir. Böylece, depolama ünitesi içindeki ısı, su ve nanoakışkanda daha etkin ve hızlı bir yayılım göstermiş olup depolama ünitesi yüzeylerinde de daha yüksek sıcaklıklar oluşmasına sebep olmuştur. Doğal olarak yüzeylerden çevreye olan ısı kayıpları da bu iki depolama maddesinin kullanıldığı deneylerde daha yüksek değerlere sahip olmuştur.



Şekil 5. 1,2 l/dk'lık kullanım suyu musluk debisinde depolama ünitesinden çevreye olan ısı kaybının depolama maddelerine göre dağılımı

Depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları Şekil 6.'da sunulmuştur. İlgili şekilde görüldüğü üzere; su ve nanoakışkan için depolama ünitesi merkezi sıcaklıklarının, gliserin ve ısı transfer

yağına göre çok daha fazla düştüğü açıktır. Bunun nedeni, suyun ve nanoakışkanın ısı iletim ve ısı yayılım katsayılarının yüksek olmasıdır.



Şekil 6. Depolama ünitesinin merkez noktasındaki sıcaklık dağılımları

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Düşük sıcaklıklı ısı üretimi, depolanması ve binalarda kullanım amaçlı sıcak su ihtiyacını temin etmek üzere tasarlanan ısıtma sisteminde deneyler yapılmıştır. Deneylerde ısı depolama maddesi olarak sırası ile su, nanoakışkan, gliserin ve ısı transfer yağı kullanılmıştır. Enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının uyuşmadığı deşarj periyodu için deneysel ölçüm ve ölçüm değerleri ile hesaplanan sonuçlar sunulmuştur Osma (2023).

- Su ve nanoakışkan bünyesinde ısı depolama yapıldığında, kullanım suyuna aktarılabilen ısı, gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksek olmaktadır. Çünkü gerek suyun gerekse de nanoakışkanın ısı depolayabilme yeteneği gliserin ve ısı transfer yağına göre daha yüksektir.
- Kullanım suyu elde edilmesi sırasında; nanoakışkan 1,2 l/dk debide kullanım suyu çıkış sıcaklıkları açısından diğer depolama maddelerine göre daha üstündür.
- Suyun ve nanoakışkanın karakteristik deneyleri boyunca; hem kullanım suyuna daha çok ısı aktarıldığı için hem de çevreye olan ısı kayıpları

daha fazla olduğundan, depolama ünitesi merkezi sıcaklıkları bu iki depolama maddesinde daha ciddi bir düşüşe uğramaktadır.

#### Teşekkür

Yazarlar, Duyulur Isı Depolamada Nanoakışkan Kullanımının Deneysel Araştırılması isimli TÜBAP 2017/117 numaralı proje için Trakya Üniversitesi'ne teşekkürlerini sunar.

#### Referanslar

- Ahmed N., Elfeky K. E., Wang, Q. W., Lu L., (2019). Thermal and economic evaluation of thermocline combined sensible-latent heat thermal energy storage system for medium temperature applications. Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems. *Energy Conversion and Management*, 189, 14-23.
- Gao Y., He F., Meng X., Zhang M., Yan L., Gao W., Xu T., (2020). Thermal performance analysis of sensible and latent heat thermal energy storage



- tanks: A contranstive experiment. *Journal of Building Engineering*, 101713, 1-10.
- Kalaiarasi G., Velraj R., Vanjeswaran M. N., Ganesh Pandian N., (2020). Experimental analysis and comprasion of flat plate solar air heater with and without integrated sensible heat storage. *Renewable Energy*, 150, 255- 265. doi: 10.1016/j.renene.2019.12.116
- Karaçavuş B., Can A., (2010). Thermal and economical analysis of an underground seasonal storage heating system in Thrace. *Energy and Buildings*, 41 (1), 1-10.
- Khair M. B., Duwairi H. M., (2021). Solar energy storage in evacuated tubes solar collector using nanofluid embedded in a saturated porous media in the fully developed region: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid embedded in graphite as a saturated porous media. *AIMS Energy*, 9 (4), 854-881.
- Lentswe K., Mawire A., Owusu P., (2022). Experimental energetic and exergetic performance of a combined solar cooking nd thermal energy storage system. *Energies*, 15 (22), 1-19.
- Lotfi M., Heyd R., Bakak A., Hadaoui A., Koumina A., (2021). Experimental measurements on the thermal conductivity of glycerol-based nanofluids with different thermal contrasts. *Journal of Nanomaterials*, 1-9.  
doi: 10.1155/2021/3190877
- Lugolole R., Okello D., Nyeinga K., Mawire A., Lentswe K. A., Shobo A. B., (2019). Experimental analyses of sensible heat thermal energy storage systems during discharging. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 35, 117-130.
- Meister C., Beausoleil-Morrison I., (2021). Experimental and modelled performance of a building-scale solar thermal system with seasonal storage water tank. *Solar Energy*, 222, 145-159.
- Ndukwu M. C., Onyenwigwe D., Abam F. I., Eke A. B., Dirioha C., (2020). Development of a low-cost wind-powered active solar dryer integrated with glycerol as thermal storage. *Renewable Energy*, 154, 553-568.  
doi: [10.1016/j.renene.2020.03.016](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.016)
- Osma E., (2023). Duyulur Isı Depolamada Nanoakışkan Kullanımının Deneysel Araştırılması. (Yayımlanmamış doktora tezi). Trakya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne  
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=kIrIdtdJ31bRgjb6fHvMUbit-c6UloGdPKvNcf4lKTmTkjByN-Pnljh70ZmXaoX7>.