

Isı geri kazanımı ve depolanmasında sıcaklık farklarının korunması için cam yünü ile donatılı tankların ısıl incelenmesi

Korhan Ökten^{*1}, Mustafa Özdemir²

17.11.2015 Geliş/Received, 03.03.2016 Kabul/Accepted

ÖZ

Enerjinin verimli kullanımı için atık ısının veya yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi gibi sadece belli bir zaman periyodunda var olan ısının depolanması gerekmektedir. Bunun için ısıl kapasitesi yüksek olan su yaygın olarak depolama kütlesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, depolama sırasında suyun taşınım akımlarını engellemek ve geri kazanılan ısının yüksek sıcaklıkta elde edilmesi için cam yünü ile emdirilmiş su kullanılmış ve test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, cam yünü ile emdirilmiş su kütlesinin katı cisim gibi davranmasından dolayı, ısının cam yünü olmayan depoya göre daha yüksek sıcaklıkta geri alınabildiği görülmüştür. Diğer taraftan, depolanan enerji miktarında azalma olduğu ve ısı geçişinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ısı transferi, ısıl katmanlaşma, ısıl enerji depolama, Konveksiyon

Thermal analysis of the tanks equipped with fibreglass in order to preserve temperature differences during heat recovery and storing

ABSTRACT

In order to use energy efficiently, waste heat and solar energy, renewable energy sources which exist only for a certain period of time, should be stored. For this, water, which has a high thermal capacity, is commonly used as storage mass. It has been tested at this study, using fibreglass impregnated with water to prevent convection currents and to obtain there covered heat at higher. The result of this research show that fibreglass impregnated with water acts like a solid substance, enabling there covered heat to be retrieved at even higher temperatures than storage which does not involve fibreglass, however, it was observed that there is a decrease in the amount of stored energy, and the heat transfer rate decreases too.

Keywords: heat transfer, thermal stratification, thermal energy storage, convection

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Amasya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya - korhanokten@gmail.com

² Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya - mozdemir@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

21. Yüzyılda artan nüfus ve sanayileşmeye paralel olarak enerji ihtiyacı artışı belirgin hale gelmiştir [1]. Bu saptamaya paralel olarak yapılan tahminlerde 2008 yılından 2035 yılına kadar enerji ihtiyacının % 53 oranında artacağı belirtilmiştir [2].

Enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte fosil yakıt tüketimi de artış göstermektedir. Fosil yakıtların tüketiminin artışı da çevresel zararlara neden olmaktadır. Çevresel zararları önlemek amacıyla birçok ülkede yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretimi konusunda çalışmalar yapılmıştır [3].

Çin rüzgâr ve hidrolik enerjisi vasıtasıyla dünyada elektrik üretimi konusunda başı çekmektedir. Almanya fotovoltaik paneller yardımı ile elektrik üretimi konusunda ilk sıradadır. Amerika dünyada biyo yakıtlardan en çok faydalanan ülkedir. Bunun yanında Kanada, Japonya, Hollanda yenilenebilir enerji kaynaklarından önemli ölçüde yararlanan diğer ülkeler olarak söylenebilir. Ülkemizde ise hidro, jeotermal ve güneş enerjisi sistemleri kullanılmaktadır [4].

Tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına eğilimin artmasına karşın bu kaynakların sürekliliğinin olamaması, üretim ve yatırım maliyetlerinin yüksek olması bu kaynaklar önünde engel teşkil etmektedir [3].

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, ısı enerjisi depolama yaygın olarak kullanılan bir enerji depolama yöntemidir [5].

Bilindiği üzere enerji yok olmamakta sadece niteliği değişmektedir. Atık ısı şeklinde niteliğini kısmen kaybetmiş enerjinin kullanılabilir alanlara yönlendirilmesi ve bununla ilgili yapılan çalışmalar enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bunun için zaten başlı başına bir mühendislik alanı olan enerji depolama yöntem ve teknikleri giderek önem kazanmaktadır.

Sanayi tesislerinde oluşan atık ısıların sürekli rejimde oluşmadığı durumlarda veya güneş enerjisi gibi belirli zaman dilimlerinde var olup diğer zamanlarda mevcut olmayan kaynakların sürekliliğinin sağlanması enerji depolaması ile mümkün olmaktadır. Bu zorunluluk nedeniyle gerek güneş enerjili sistemlerinde gerekse de atık ısı geri kazanımı gerektiren uygulama alanlarında ısı enerjisi depolama yöntemlerinin önemi büyüktür [6].

Isıl enerji depolama yöntemleri duyulur ve faz değişimli ısı depolama olmak üzere ikiye ayrılır.

a) Duyulur ısı depolama (sıvılar, katılar)

b) Faz değişimli ısı depolama (katı-katı, katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-sıvı, sıvı-gaz) [7]

Duyulur ısı depolama; katı veya sıvı maddenin ısı kapasitesinden yararlanılarak yapılan depolamadır. Bu tür depolamada ısı yüklendiğinde ya da ısı çekildiğinde depo ortamının sıcaklığı değişir [8].

Faz değişimli ısı depolama yöntemi; maddenin faz değişimi sırasında aldığı ya da verdiği ısıdır. Depolama işlemi katı-sıvı, katı-katı, sıvı-buhar ve buhar-katı dönüşümleri kullanılarak gerçekleştirilir [9].

Atık ısı depolamada ısının iç enerji olarak bir kütleyle aktarılması en yaygın uygulamadır. Ancak faz değiştirmeyen bir maddeye ısı verildiğinde sıcaklığın artması söz konusu olduğundan dolayı ısı kaynağının sıcaklığı ile ısı depolanacak kütlelerin sıcaklığı arasındaki fark, ısı depolandıkça azalmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak, ısı geçişi azalırken depolanan ısının niteliği artmaktadır. Bir diğer deyimle, ısının mümkün olduğu kadar yüksek bir sıcaklıkta depolanması sağlanmaktadır. Bu gerçeklikten hareket ile mümkün olduğu kadar büyük miktarda ısı depolamak için özgül ısı nispeten (göreceli olarak) yüksek, kolay bulunur (ucuz), kolay depolanır bir maddeye ihtiyaç vardır. Bu niteliklere sahip madde ise sudur. Su aynı zamanda atmosfer basıncında 100 °C de faz değiştirebildiği için bu sıcaklığın üzerindeki atık ısıların depolanmasında da uygun olmakla birlikte gaz fazında hacminin 1600 kat artması fiziki mekân sorunu oluşturmaktadır. Su için katı sıvı faz değiştirme sıcaklığı 0 °C olduğundan dolayı katı sıvı faz değişimi sırasında ısı depo olarak kullanılması geri kazanılacak ısının niteliğinin ve kullanılabilirliği çok sınırlı olmasından dolayı tercih edilmemektedir.

Su ısı deposu olarak değişken sıcaklık aralığında sıvı fazda kullanılmaktadır. Buna alternatif olarak 30-90 °C sıcaklık aralığında faz değiştiren parafin gibi maddelerin ısı deposu olarak kullanılması yaygın bir uygulama olmakla birlikte hem yüksek yatırım maliyetleri hem de koku ve yangın emniyet tedbirleri nedeniyle özel önlem alınması gerektiğinden her zaman tercih edilmemektedir.

Bu çalışmanın amacı 50-55 °C sıcaklığında atık ısı depolayabilecek su bazlı depolama yöntemi için ısı geçişleri sırasında depo içerisindeki suyun sıcaklık gradyanındaki değişimleri inceleyerek ısı yükleme ve

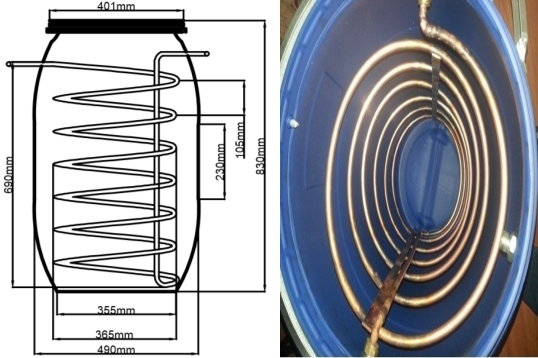
boşaltma periyotlarını iki farklı donatı ile ortaya koymaktır. Depo içi donatılar;

1. Isı alışverişi yapan spiral kıvrılmış boru, depo içinde doğal taşınım yapabilen su içerisinde bulunmaktadır.
2. Isı alışverişi yapan spiral kıvrılmış boru ve depo içinde ısıyı depolayan cam yünü emdirilmiş su kullanılarak doğal taşınım yapması engellenmiştir.

Elde edilen sonuçların ışığında göreceli olarak kısa ve uzun periyotla yükleme ve boşaltma için hangi tür depo donatısının kullanılacağı ortaya konulmuştur.

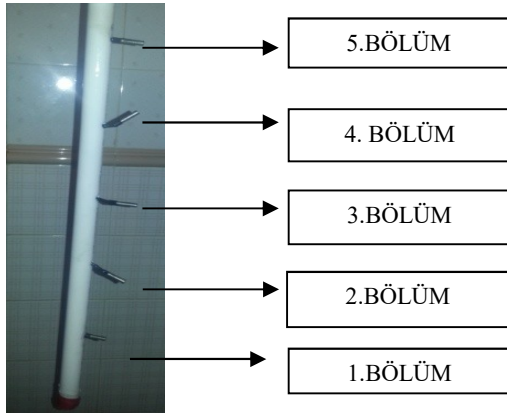
2. DENEY DÜZENEGİ (TESTING APPARATUS)

Deney düzeneği olarak Şekil 1'de görüldüğü gibi 100 L'lik bir depo ve bu depo içerisine yerleştirilmiş spiral boru yardımıyla bir ısı değiştiricisi oluşturulmuştur.



Şekil 1. Deney düzeneğinin yapımı öncesi tasarım resmi ve rejeneratif ısı değiştiricisi (design image prior to the construction of the experimental apparatus and regenerative heat exchanger)

Su giriş ve çıkışları Şekil 1'de tasarım resminde görüldüğü üzere deponun üst bölümünden sağlanmış ve çıkış borusunun sıcaklık gradyanlarını değiştirmemesi amacıyla Şekil 3'de görüldüğü gibi yalıtılmıştır.



Şekil 2. Depo içine yerleştirilen sensörler (Sensors placed in the tank)

Tablo. 1 Sensörün özellikleri (features of sensor)

Sensör Tipi	Sıcaklık Aralığı	Doğruluk
NTC	9...120 °C	±% 1 (Tam skala) ± dijital

Şekil 1'de görülen depoya sıcaklık değerlerini ölçmek için, özellikleri Tablo 1'de verilen, 5 sensör eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu algılayıcılar yardımıyla deponun içerisindeki sıcaklık gradyanları incelenmiştir. Şekil 2'de görülen her bir bölüm 20 L'lik donatının sıcaklığını ölçmektedir. Algılayıcılar bir plastik boru vasıtasıyla deponun orta noktasına yerleştirilmiş ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3. Deney düzeneği ve su emdirilmiş cam yünü depo donatısı (testing apparatus and tank equipment with water impregnated fibreglass)

Son olarak Şekil 3'te sıcaklıkların okunduğu sıcaklık göstergesi, deponun yalıtılmış hali ve cam yünü donatılar için kullanılan dolgu maddesi görülmektedir.

2.1. Deney düzeneğinin ısı kayıplarının belirlenmesi (Determining the heat loss of testing apparatus)

Öncelikli olarak ısı deposundan birim zamanda çevreye geçen ısı enerjisi miktarı hesaplanarak depo ile çevre arasındaki toplam ısı geçiş katsayısı (K) belirlendi.

Sistem kapalı bir sistemdir ve birim zamandaki iç enerji değişimi birim zamanda çevreye geçen ısıya eşittir.

$$\dot{Q}_k \pm \dot{W} = \frac{dU}{dt} \quad (1)$$

Denklem 1'de görülen Q_k (kJ) kaybolan ısı enerjisi, U (kJ) iç enerji, W yapılan iş. $W=0$ dir. Denklemdeki değerler yerine konulduğunda Denklem 2 elde edilir.

$$m_d \frac{du}{dt} = KA(T - T_c) \quad (2)$$

Burada $m_d \frac{du}{dt}$ değeri küçük sıcaklık aralığında $m_d c_v \frac{dT}{dt}$ olarak ifade edilebilir ve Denklem 3 elde edilir.

$$m_d c_v \frac{dT}{dt} = KA(T - T_\varphi) \quad (3)$$

Denklem 3'te m_d depo kütlesi, K toplam ısı geçiş katsayısı, A depo alanı, T_φ çevre sıcaklığı ve c_v özgül ısıdır.

$$\int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{T - T_\varphi} = \int_{t_2}^{t_1} \frac{KA}{m_d c_v} dt \quad (4)$$

$$\left[\ln(T_1 - T_\varphi) - \ln(T_2 - T_\varphi) \right] = \frac{KA}{m_d c_v} \Delta t \quad (5)$$

$$K = \frac{\left[\ln(T_1 - T_\varphi) - \ln(T_2 - T_\varphi) \right]}{A \Delta t} \quad (6)$$

Test düzeneğinde, Denklem 6'da görülen $A = 1,173 \text{ m}^2$, $m_d = 98,8 \text{ kg}$, $T_\varphi = 20,4 \text{ }^\circ\text{C}$ dir.

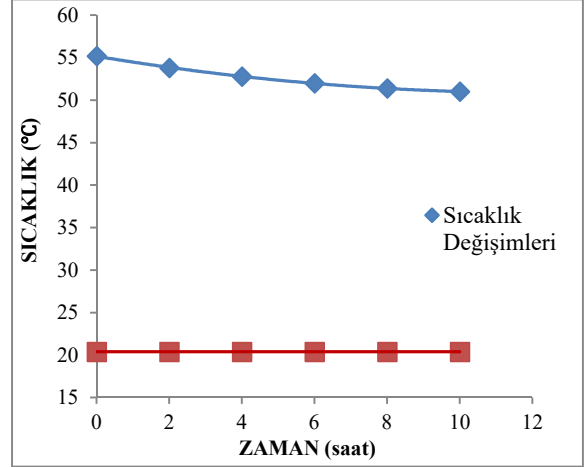
Yukarıda görüldüğü gibi Denklem 6 yardımı ile her bir zaman dilimi için ölçülen sıcaklık değerlerinde (K) toplam ısı geçiş katsayısı hesaplanabilmektedir.

K değerinin hesaplanabilmesi için depodan 2 saat aralıklarla aşağıda verilen sıcaklıklar ölçüldü.

Tablo 2. Ölçülen sıcaklık değerleri (measured temperature values)

ÖLÇÜMLER	Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	t (saat)
1. Ölçüm	55,2	0
2. Ölçüm	53,8	2
3. Ölçüm	52,8	4
4. Ölçüm	52	6
5. Ölçüm	51,4	8
6. Ölçüm	51	10

Tabloda ölçülen değerler Şekil 4'te grafik olarak verilmektedir.



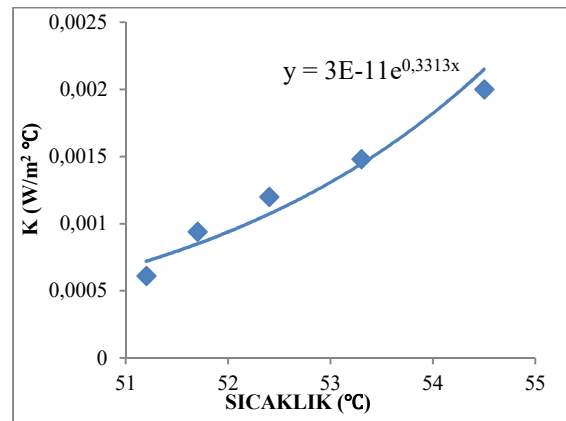
Şekil 4. Isıl depo soğuma grafiği (cam yünü yok) (Thermal storage cooling graph (without fibreglass))

Ölçülen sıcaklık değerleri kullanılarak zaman aralıklarında toplam ısı geçiş katsayısı (K) Denklem 6 vasıtasıyla hesaplandı. Bulunan değerler Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Hesaplanan K değerleri (calculated K values)

SONUÇLAR	K ($\text{kW/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$)	t (saat)
1. Sonuç	0,002	2
2. Sonuç	0,00148	4
3. Sonuç	0,0012	6
4. Sonuç	0,00094	8
5. Sonuç	0,00061	10

Toplam ısı geçiş katsayısının (K) sıcaklığa göre değişim grafiği ise Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Toplam ısı geçiş katsayısı K değerinin sıcaklığa göre değişimi (the change of heat transfer coefficient depending upon heat)

Hesaplanan toplam ısı geçiş katsayısı (K) değerlerinin ortalaması alınarak yeni bir K değeri hesaplandı ve bu değer $1,207 \cdot 10^{-3} \text{ kW/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulundu.

2.2. Değerlendirme (Assessment)

Deneyde soğuk su dolu depodan spiral boru yardımıyla sıcak su geçirildi. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı olarak deneyler tekrarlandı. Deneyler sırasında depo suyu sıcaklığı 5 pozisyonunda ve boru içinden geçen suyun girişi ve çıkışı sıcaklıkları eş zamanlı olarak ölçüldü.

Ölçülen sıcaklıklar deney protokolünde tablolara aktarıldı ve aşağıda görüldüğü gibi denklem 7 - 12 eşitlikleri yardımı ile \dot{Q}_{rj} değerleri hesaplandı.

Aşağıda, belirtilen depo için enerji denkliği verilmiştir.

Bu ısı geçişi olayı için zamana göre enerji denkliği yazılırsa;

$$\frac{dU}{dt} \pm \dot{W} = \dot{Q}_{rj} - \dot{Q}_k \quad (7)$$

Denklem 7 elde edilir. $\dot{W}=0$ dır. Bu denklemdeki \dot{Q}_k kayıp enerji miktarı, \dot{Q}_{rj} spiral borudan geçen enerji miktarıdır. Bu ifadeler yerine konulduğunda;

$$\dot{Q}_d = m_d \frac{du}{dT} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_k = KA\Delta T_{lm} \quad (9)$$

$$\dot{Q}_{rj} = \dot{m} c \Delta T \quad (10)$$

$$m_d \frac{du}{dt} = \dot{m} c \Delta T - KA\Delta T_{lm} \quad (11)$$

$$(T_2 - T_1) = \frac{m_d \frac{du}{dt} + KA\Delta T_{lm}}{\dot{m} c} \quad (12)$$

Denklem 12 elde edilir.

Denklem 12 yardımıyla spiral boru içerisinden geçen suyun sıcaklıkları hesaplanırken aşağıda verilen kabuller yapılmıştır;

1. Ortam sıcaklığı sabit kabul edilmiştir.
2. \dot{Q}_k değeri sabit kabul edilmiştir.
3. \dot{Q}_{rj} , belirli bir zaman aralığında spiral borudan geçen suyun; kütleli debisi, özgül ısısı ve sıcaklık farkı bilinmektedir. Bu ısıyı alan depodaki suyun her bir bölümünde ne kadar depolandığı bilinmelidir. Bunun için \dot{Q}_{rj} değeri, her bir

bölümdeki sıcaklık değişimine bağlı olarak söz konusu bölümlere dağıtıldı. Bölümlere giren ısı yine zamana bağlı olarak iç enerjinin artışına neden olduğu için, iç enerji artışı eşitliğinden yararlanarak olması gereken ve ilgili bölümün tamamı için geçerli bir sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Bu kabul, bölüm içindeki sıcaklığın homojen dağılmadığı halde homojen dağılmış gibi görülerek bir referans sıcaklık değeri belirlenmesine dayanmaktadır.

Bu kabullerle birlikte hesaplamalar yapılırken sıcaklık ölçümleri sırasında sıcaklık ölçüm mekanizmasından kaynaklı ölçüm hataları olabilmektedir. Sıcaklık ölçüm mekanizmasının, ölçülen her sıcaklıktaki hata değeri $\pm 0,2$ °C dir. Buradan yola çıkarak ölçümlerdeki hata miktarları belirsizlik analizi yöntemi ile bulunmuştur [10].

$$H = (a_1^2 + b_2^2)^{1/2} \quad (13)$$

Denklem 13'te görülen H ölçülen sıcaklık değerlerinde ki hata oranını, a ve b değerleri sırasıyla ölçülen sıcaklık değerleridir.

$$H = (0,2^2 + 0,2^2)^{1/2} \quad (14)$$

$$= \pm 0,28 \text{ °C}$$

Bulunan H değeri ΔT sıcaklık farklarını değiştirme miktarı (Tablo 6);

$$\text{Maximum sıcaklık farkı için: } \frac{0,28}{6,4} = 0,0044$$

$$\text{Minimum sıcaklık farkı için: } \frac{0,28}{2} = 0,11$$

olarak belirlenmiştir.

Buradaki belirsizlik miktarlarına rağmen ölçülen sıcaklık değerleri ile hesaplanan spiral boru içerisindeki sıcaklık değerleri birbirlerine paralellik göstermektedir. Bu durum da ölçtüğümüz sıcaklıklardaki yanılma payını azaltmaktadır.

Spiral borudan geçirilen ısıtma suyunun debisi **0,0527 m³/s** olarak ölçüldü ve depo içerisindeki her bölümde ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmektedir.

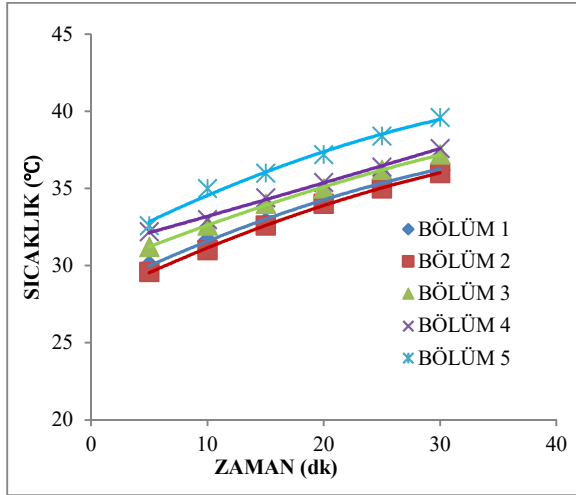
Tablo 4. Cam yünsüz deponun sıcaklık değerleri (temperature value of the tank equipment which have no fibreglass)

	1.Ölç. (°C)	2.Ölç. (°C)	3.Ölç. (°C)	4.Ölç. (°C)	5.Ölç. (°C)	6.Ölç. (°C)
1.Bölüm	30	31,6	32,8	34,4	35,4	36,2
2.Bölüm	29,6	31	32,6	34	35	36
3.Bölüm	31,2	32,6	34	35	36,2	37,2
4.Bölüm	32,2	33	34,4	35,4	36,4	37,6
5.Bölüm	32,6	35	36	37,2	38,4	39,6

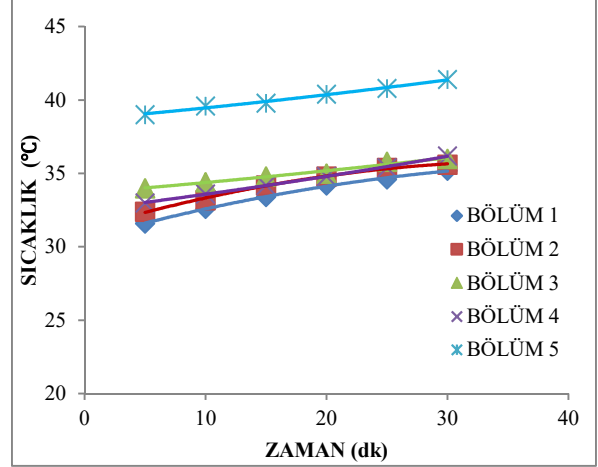
Tablo 5. Cam yünlü deponun sıcaklık değerleri (temperature value of the tank equipment which have fibreglass)

	1.Ölç. (°C)	2.Ölç. (°C)	3.Ölç. (°C)	4.Ölç. (°C)	5.Ölç. (°C)	6.Ölç. (°C)
1.Bölüm	31,6	32,6	33,4	34,2	34,6	35,2
2.Bölüm	32,4	33,2	34,2	34,8	35,4	35,6
3.Bölüm	34	34,4	34,8	35	35,8	36
4.Bölüm	33	33,6	34,2	34,8	35,4	36,2
5.Bölüm	39	39,6	39,8	40,4	40,8	41,4

Tablo 4 ve Tablo 5'te cam yünlü donatılı sıcaklık farklarının cam yünsüz donatılı sıcaklık farklarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Sıcaklık değerlerinin değişen zamanla birlikte davranışlarını incelemek için sıcaklıklar grafik olarak Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Cam yünsüz depo donatısı sıcaklık dağılımı (temperature distribution of the tank equipment which have no fibreglass)



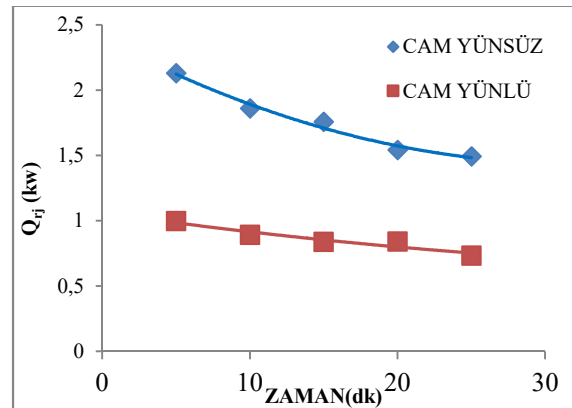
Şekil 7. Cam yünlü depo donatısı sıcaklık dağılımları (temperature distribution of the tank equipment, which have fibreglass)

Şekil 6 ve Şekil 7'de görülen her bir bölüm için sıcaklık farkları Tablo 6'da kıyaslamalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 6. Cam yünlü ve cam yünsüz sıcaklık farkları (temperature difference of the equipments which have fibreglass and no fibreglass)

ΔT (°C)	Cam Yünlü	Cam Yünsüz
1.Bölüm	3,6	6,2
2.Bölüm	3,2	6,4
3.Bölüm	2	6
4.Bölüm	3,2	5,4
5.Bölüm	2,4	7

Bu değerlerle birlikte spiral borudan depoda bulunan donatıya birim zamanda transfer edilen ısı güçleri Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depoda ısı geçişi hızları (heat transfer speed of the equipments which have fibreglass and no fibreglass)

Şekil 6 ve Şekil 7 karşılaştırıldığında cam yünsüz ısı geçişi cam yünlü ısı geçişine göre iki kattan daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 7'de dikkat çekilmesi

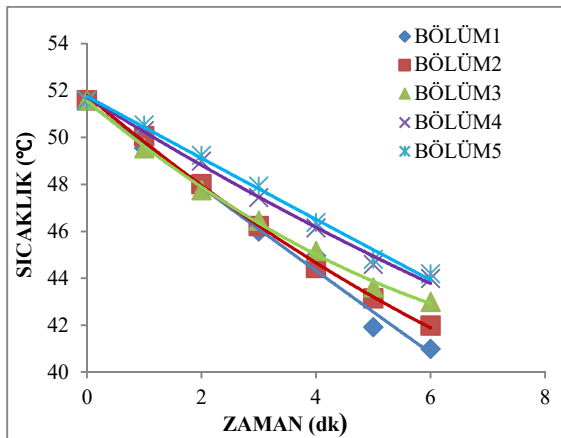
gereken bir diğer hususta 5. Bölümdeki sıcaklık değerlerinin diğer bölümlerle olan sıcaklık farkını zaman içinde koruyabilmesidir. Bu durum cam yünü depoda doğal taşınım minimuma indirildiğinden, bölümlerin birbirlerinden mümkün olduğu kadar iyi yalıtılabildiğini göstermektedir. Bu sonuç birbirinden farklı sıcaklıklardaki sıvıların cam yünü depo içerisinde minimum ısı alışverişisi ile depolanabileceğini göstermiştir.

Yukarıdaki grafiklerde depo donatısının depo içerisindeki her bir bölümde zamana bağlı olarak sıcaklıkların nasıl değiştiği görülmektedir. Burada ise spiral boru içerisinde geçen ısıtma suyunun zamana bağlı sıcaklık değişimleri Denklem 12 yardımıyla belirlenmiş ve Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir. Sisteme geçen toplam ısı, spiral borudan geçen suyun giriş ve çıkış sıcaklık değerleri ölçülerek elde edilmiştir. Bu ısı her bir bölümde ölçülen depo suyu sıcaklık değişimleri dikkate alınarak bölümlere dağıtıldı ve spiral borudan geçen suyun her bir bölümdeki ortalama sıcaklıkları hesaplandı.

Tablo 7. Hesap edilen cam yünsüz depo suyu sıcaklık değerleri (the temperature values of the equipment without fibreglass)

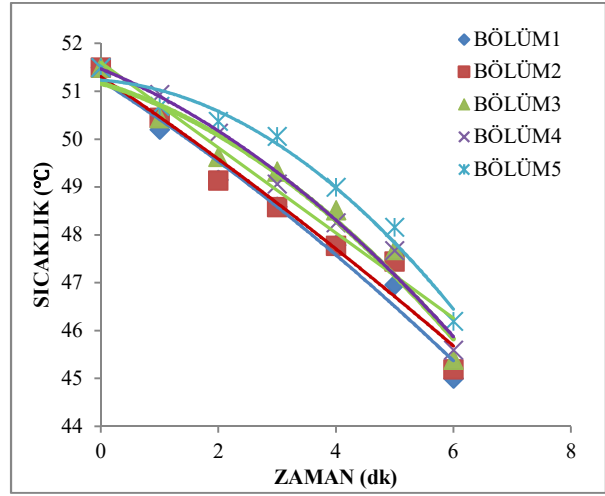
	1.Ölç.	2. Ölç.	3. Ölç.	4. Ölç.	5. Ölç.
T _{GİRİŞ} (°C)	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6
T ₁ (°C)	49,5	50	49,5	50,3	50,5
T ₂ (°C)	47,7	48	47,7	49	49,2
T ₃ (°C)	46	46,2	46,4	47,4	47,9
T ₄ (°C)	44,9	44,4	45,1	46,1	46,3
T ₅ (°C)	41,9	43,1	43,6	44,5	44,8
T _{ÇIKIŞ} (°C)	41	42	43	44	44,2

Belirlenen sıcaklık değerlerinin dağılımlarının daha iyi incelenebilmesi için tablodaki değerler grafik olarak Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Cam yünsüz donatılı depo suyu sıcaklık değerleri (water temperature values of the equipment which have no fibreglass)

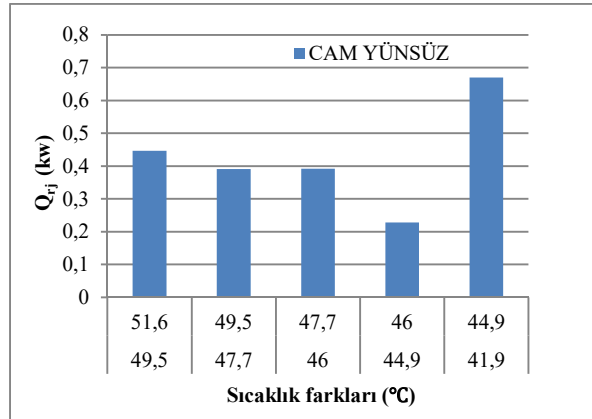
Tablo 7'de olduğu gibi cam yünü donatılı depoda bulunan spiral boru içerisindeki sıcaklık değerleri hesaplanmış ve Şekil 10'da verilmiştir.



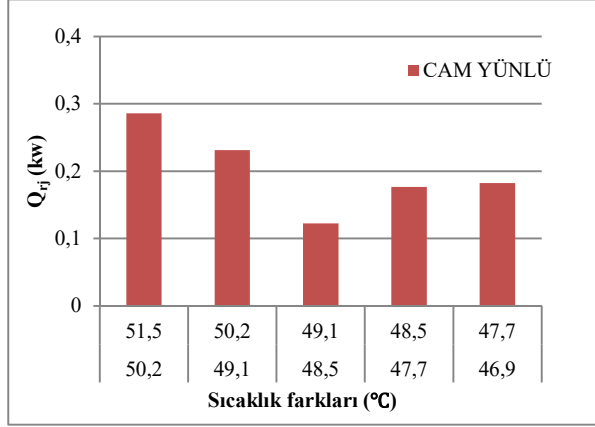
Şekil 10. Cam yünü donatılı depo suyu sıcaklık değerleri (temperature values of the equipment which equipped with fibreglass)

Şekil 9 ve Şekil 10'da ki grafikler de cam yünsüz depo donatısının sıcaklık değişimi cam yünü depo donatısına göre fazla olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 6 ve Şekil 7 ile paralellik göstermektedir.

Her iki donatıdaki sıcaklık değişimleriyle birlikte oluşan ısı geçişleri Şekil 11 ve Şekil 12'de görülmektedir.

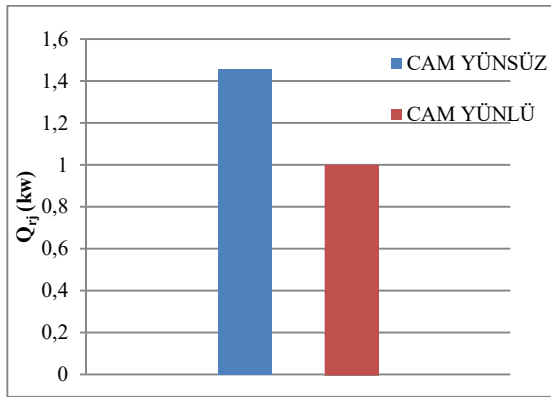


Şekil 11. Belirlenen sıcaklık değeri aralıklarında Q_{fj} değerleri (Q_{fj} value in the specified temperature rank)



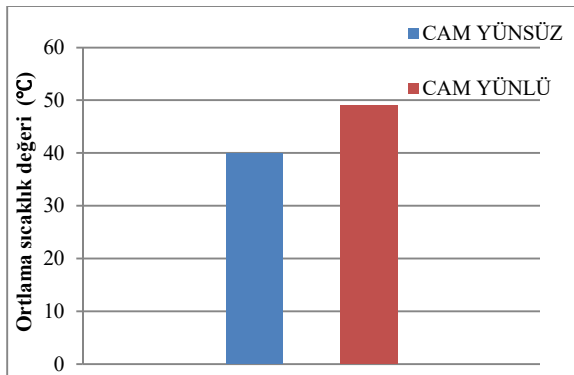
Şekil 12. Belirlenen sıcaklık değeri aralıklarında Q_{rij} değerleri (Q_{rij} value in the specified temperature rank)

Bu diyagramlar yardımıyla depodan geri kazanılan toplam ısı miktarları (Q_{rij}) ve ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalamaları alınarak bir kıyaslama daha yapıldı.



Şekil 13. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı Q_{rij} değerleri (Q_{rij} value in equipment which have fibreglass and no fibreglass)

Şekil 13'te görüldüğü gibi birim zamanda donatıya geçen toplam ısı miktarı cam yünsüz donatılı depoda cam yünlü donatılı depoya göre daha yüksektir.



Şekil 14. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depoda spiral boru ortalama sıcaklık değerleri (Average tube temperature values of the tank which have fibreglass and no fibreglass (measured with spiral tube))

Şekil 14'te ise spiral boru içerisindeki suyun ortalama sıcaklıkları verilmiştir. Bu diyagrama göre de cam yünlü donatılı depodaki ortalama sıcaklık değeri cam yünsüz donatıya göre fazladır. Bir diğer deyimle daha az ısı daha yüksek sıcaklıkta geri kazanılabilmektedir. Bu da cam yünlü donatılı deponun ısı etkinliğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Elde edilen tüm veriler, sonuçlar bölümünde değerlendirilmiştir.

3. SONUÇLAR (RESULTS)

Camyünü ile donatılı olan depoda, cam yünü olmayan depoya göre daha az ısı daha yüksek sıcaklıklarda depolanmaktadır. Bu deneylerden elde edilen verilerin ışığında ulaşılan sonuçlar gösteriyor ki, kısa süreli ısı depolamak isteniyorsa, ısı geçişi daha fazla olduğundan cam yünsüz donatılı depo kullanmanın uygun olduğudur. Ancak depo suyunun giriş ve çıkıştaki sıcaklık farkı ile maksimum depo suyu sıcaklığının daha düşük değerde kaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan cam yünlü donatıya sahip depoda daha az ısı daha yüksek bir sıcaklıkta depolanabilmektedir. Bir diğer deyimle depo giriş ve çıkışındaki sıcaklık farklarının daha küçük olduğu görülmüştür. Şekil 13 ve Şekil 14'te görüldüğü gibi, vurgulanması gereken bir diğer konuda ısının geri kazanılması sırasında daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir olmasıdır. Sonuç olarak cam yünlü donatıda sıcaklık farklarının düşük olmasından dolayı ısının niteliği daha uzun süreli korunabilmektedir.

Kısa süreli ve yüksek rejenerasyon sıklığı söz konusu olduğunda cam yünsüz depo donatılarının, uzun süreli ve düşük rejenerasyon sıklığında yüklemeler söz konusu olduğunda ise cam yünü donatılı depolar tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] H. Paksoy, H. Evliya, B. Turgut, M. Mazman, Y. Konuklu, Ö. Gök, M. Ö. Yılmaz, S. Yılmaz, B. Beyhan ve N. Şahan, Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Enerji Depolama ile Değerlendirilmesi, izmir, 2009(a).
- [2] I. Dinçer, "The Role of Exergy in Energy Policy Making," Energy Policy, 2002.
- [3] H. Paksoy, H. Evliya, B. Turgut, M. Mazman, Y. Konuklu, Ö. Gök, M. Ö. Yılmaz, S. Yılmaz, B. Beyhan ve N. Şahan, "Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Enerji ile

- Değerlendirilmesi,” 11.Enerji Kongresi, İzmir, 2009 (b).
- [4] “Renewables 2012 Global Status Report,” Renewables Energy Policy Network for the 21 st Century, Paris, France, 2012.
- [5] M. Kozak ve Ş. Kozak, “Enerji Depolama Yöntemleri,” SDU International Journal of Technologic Science, pp. 17-29, 2012.
- [6] I. Dinçer ve M. A. Rosen, “Thermal Energy Storage Systems and Applications,” NewYork, 2002.
- [7] A. Karaipekli, “Faz Değişimli Enerji Depolama Maddelerinde Isıl İletkenliğin Zenginleştirilmesi,” Gaziosman Paşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 2006.
- [8] İ. Dinçer ve S. A. Dost, “Perspective on Thermal Energy Storage Systems for Solar Energy Applications,” International Journal of Energy Research, pp. 547-557, 1996.
- [9] S. D. Sharma ve K. Sagara, “Latent Heat Storage Materials and Systems:A Rewiev,” International journal of Green Energy, pp. 1-56, 2005.
- [10] E. K. K. Akpınar, “Deneyel Alışmadaki Hata Analizine Bir Örnek: Kurutma Deneylerinin Hata Analizi,” Mühendis ve Makina, cilt 46, no. 540, pp. 45-46.