



Isı Geri Kazanım Tanklarında Cam Yünü Uygulamasının Termal İncelenmesi

Mustafa ÖZDEMİR¹, Korhan ÖKTEN²

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

²Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya, Türkiye

Received: 16.09.2016; Accepted: 18.11.2016

Özet. Günümüzde, teknolojinin gelişimine paralel olarak enerji tüketiminde önemli artışlar söz konusudur. Oluşan tüketimi karşılamak amacıyla fosil yakıtlara olan bağımlılık artmaktadır. Bu kaynakların kullanımından oluşan salınım, sera etkisi yaratarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Literatür incelendiğinde genellikle rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Bunun yanı sıra üretilen enerjiden maximum verim elde edilmesi de literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Enerjinin verimli kullanımını sağlamak için atık ısının veya yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi gibi sadece belli bir zaman periyodunda var olan ısının depolanması gerekmektedir. Bunun için ısı kapasitesi yüksek olan su yaygın olarak depolama kütlesi olarak kullanılmaktadır. Suyun yoğunluğu sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden ısıtma ve soğutma sırasında sıcaklığı değişen su, depo içinde taşınım akımlarına maruz kalmaktadır. Bu durum ilk bakışta ısı geçişi için avantajlı olarak görülse de, sıcaklık gradyeni, ısı geçişinden dolayı azaldığı için ısının depodan geri kazanımı daha düşük bir sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Bu çalışmada konveksiyon akımlarının engellenmesi ve çekilen ısının daha yüksek sıcaklıklarda alınması amaçlanmıştır. Bunun için su emdirilmiş cam yünü, depo donatısı olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre su emdirilmiş cam yünü kütlesinin katı gibi davrandığı gözlemlenmiştir. Bu durum iç enerjinin, cam yünü olmayan depoya göre cam yünlü depo donatısında daha yüksek sıcaklıkta geri alınmasını sağlamıştır. Diğer taraftan, depolanan enerji miktarında azalma olduğu ve ısı geçişinin yavaşladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı transferi, Termal enerji depolama, Konveksiyon, Termal katmanlaşma

The Thermal Examination of Fibreglasses Application for Heat Recovery Tanks

Abstract. Today, there is a significant increment in energy consumption in parallel with development of technology. To supply the consumption, dependency on fossil fuels have increased and emissions, which occur with used fossil fuels, create greenhouse effect and cause global warming. When literatures are examined, generally, it is emphasized using renewable energy sources such as wind and solar energy. Besides, maximum efficiency obtained from produced energy, plays significant role in literature. 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. Density of the water varies depending upon temperature. Therefore, the water of which temperature vary in the course of heating and cooling, is exposed to convections currents in the storage and accelerates its heat transfer. Even though this may seem advantageous at first, as the temperature gradient is decrease due to heat exchange, the heat recovery from the storage occurs at lower temperatures. This study aims to prevent convections currents and to obtain covered heat at higher temperature. Therefore, fibreglass impregnated with water is used as tank equipment. According to the results, fibreglass impregnated with water acts like a solid body. This situation provided that heat retrieves from thermal tank with fibreglass at higher temperatures than thermal tank without fibreglass. However, it was observed that there is a decreasing in the amount of stored energy, and the heat transfer rate decelerates.

Keywords: Heat transfer, Thermal energy storage, Convection, Thermal stratification

* Corresponding author. Email address: korhan.okten@amasya.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde artan teknoloji ile birlikte enerji tüketimi hızla artmaktadır. Bu da mevcut kaynakların tükenmesine ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Fosil kaynakların hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi etkileri bilinmesine rağmen, hala enerji kaynakları arasında en çok kullanılan enerji türüdür. Bu durumun engellenebilmesi için sürdürülebilir ve gelişmiş teknolojiler üretilmelidir[1].

Dünya ülkeleri bu durum karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Çin, rüzgâr ve hidrolik enerjisi vasıtasıyla dünyada elektrik üretimi konusunda başı çekmektedir. Almanya, fotovoltik 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[2].

Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına eğilimin artmasına rağmen yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve sürekliliğinin olmaması bu kaynaklar önünde önemli bir engel teşkil etmektedir[3]. Mevcut bu durum enerjinin mümkün olan en verimli şekilde kullanılması çalışmalarını artırmıştır. Enerjinin depolanabilmesi için birçok yöntem bulunmasına rağmen uygulanabilirliğinin kolay olmasından dolayı termal enerji depolama en yaygın olanıdır[4].

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 kaynaklar için sürekliliğin 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[5].

Isı iki yöntemle depolanabilmektedir. Bunlar duyulur ısı depolama ve faz değişimli ısı depolamadır. Duyulur ısı depolama, sıcaklık değişimi sırasında malzemenin depoladığı enerjidir. Faz değişimli ısı depolama ise malzemenin hal değişimi sırasında depoladığı enerjidir[6]. Pratikte uygulanabilirliği kolay olmasından dolayı duyulur ısı depolama yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Duyulur ısı enerjisi depolama malzemesi olarak su, yüksek enerji depolama kabiliyeti, kolay bulunabilirliğinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gerek güneş enerjili sistemlerin gerek atık ısı depolama tanklarının verimlerini artırmak amaçlı, Literatürde ısı gradyanlarının ve termal katmanlaşmanın incelendiği birçok çalışma vardır. Lavan ve Thompson farklı giriş ve çıkış sıcaklıklarının, farklı yükseklik ve çap oranlarının, farklı giriş ve çıkış geometrilerinin, farklı debilerin termal katmanlaşma üzerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Bunun sonucunda parametrelerin artışının termal katmanlaşmaya olumlu etki yaptığı görülmüştür[7]. Andersen ve Furbo katmanlaşmamış termal tanklarda depolama verimini incelemiştir. Bu çalışmanın sonucunda güneş enerjili sistem veriminin % 23 oranında düştüğü gözlemlenmiştir[8] [8]. Spur ve ark. 3 farklı özellikteki tankın termal verimliliğini incelemiştir. Deneysel sonucunda yaygın olarak kullanılan enerji depolama sistemlerine göre termal katmanlaşmanın olduğu sistemlerin % 32 daha verimli olduğunu gözlemlenmiştir[9]. Iğci ve Arslan yeni tasarlanan bir termal tankın ısı çekimi sırasındaki performansının belirlenmesine yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma sonucunda, belirlenen termal katmanlaşmanın ısı çekilmesi sırasında Grashoff sayısının yüksek değerleri için paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Belirli değerler için su sıcaklığının mümkün olan maksimum süre

korunabildiği sonucuna varılmıştır[10]. Helva ve ark. yatay tanklarda termal davranışı incelemiş ve termal katmanlaşmanın tankın yükleme karakteristiğine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır[11]. Termal tankların davranışlarıyla ilgili bahsi geçen bu çalışmalara rağmen uzun vadeli ısı yükleme ve ısı çekilmesini kapsayan kapsamlı çalışma sayısının artırılması gerektiği görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı 50-55 °C sıcaklığında atık ısı depolayabilecek sıvı 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.

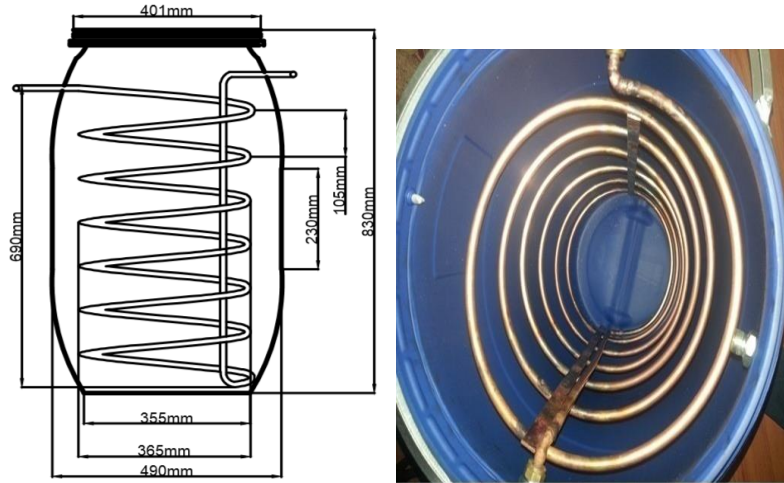
Depo içi donatılar;

- I. Isı alışverişi yapan spiral kıvrılmış boru depo içinde doğal taşınım yapabilen su içerisinde bulunmaktadır.
- II. Isı alışverişi yapan spiral kıvrılmış boru depo içinde ısıyı depolayacak olan su camyününe emdirilerek 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. DENEYSEL ÇALIŞMA

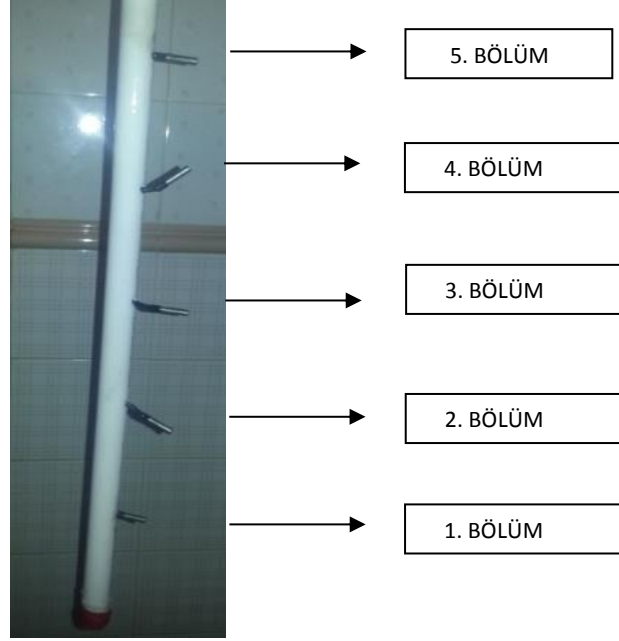
Deney düzeneği olarak Şekil 1’de görülen, 100 L’lik depolama kapasitesi olan rejeneratif ısı değiştiricisi tasarlanmıştır.



Şekil 1. Isı depolama tankı tasarım resmi ve depo içi görüntüsü

Şekil 1’de görülen tanka sıcaklıkların ölçülebilmesi için Şekil 2’de görülen eşit aralıklarla sıralanmış ve her biri 20 L’lik hacmin sıcaklığını ölçen sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Her bir sensör, ölçtüğü bölümlere göre adlandırılmıştır.

Isı Geri Kazanım Tanklarında Cam Yünü



Şekil 2. Depo içine yerleştirilen sensörler

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.

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

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

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

$$= \pm 0,28 \text{ °C}$$

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

$$\text{Maximum sıcaklık farkı için: } \frac{0,28}{12,8} = 0,0218$$

$$\text{Minimum sıcaklık farkı için : } \frac{0,28}{2} = 0,14 \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

Şekil 3'te sıcaklıkların okunduğu sıcaklık göstergesi ve 5 cm'lik cam yünü ile yalıtımı yapılmış ısı depolama tankı görülmektedir.



Şekil 3. Deneş düzeneği ve su emdirilmiş cam yünü depo donatısı

Deneş düzeneğinin kurulmasının ardından cam yünlü ve cam yünsüz donatılar için deneşler yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

3. DENEYSSEL SONUÇLAR

3.1 Isı depolama tankının kayıplarının belirlenmesi

Öncelikle 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 eşitir. Denklem 3'te enerji denkleği verilmiştir.

$$\dot{Q}_k \pm \dot{W} = \frac{dU}{dt} \quad (3)$$

Denklem 1'de görülen Q_k (kJ) kaybolan ısıl enerji, U (kJ) iç enerji, W yapılan iştir. $W=0$ dır. Denklemdeki değerler yerine konulduğunda Denklem 4 elde edilir.

$$m_d \frac{du}{dt} = KA(T - T_c) \quad (4)$$

Burada $m_d \frac{du}{dt}$ değeri küçük sıcaklık aralığında $m_d c_v \frac{dT}{dt}$ olarak ifade edilebilir ve Denklem 5 elde edilir.

$$m_d c_v \frac{dT}{dt} = KA(T - T_c) \quad (5)$$

Denklem 3'de m_d depo kütleşi, K toplam ısı geçiş katsayısı, A depo alanı, T_c çevre sıcaklığı ve c_v özgül ısıdır. Her iki tarafın integrali alındığında denklem 6 elde edilir.

$$\left[\ln(T_1 - T_c) - \ln(T_2 - T_c) \right] = \frac{KA}{m_d c_v} \Delta t \quad (6)$$

Isı Geri Kazanım Tanklarında Cam Yünü

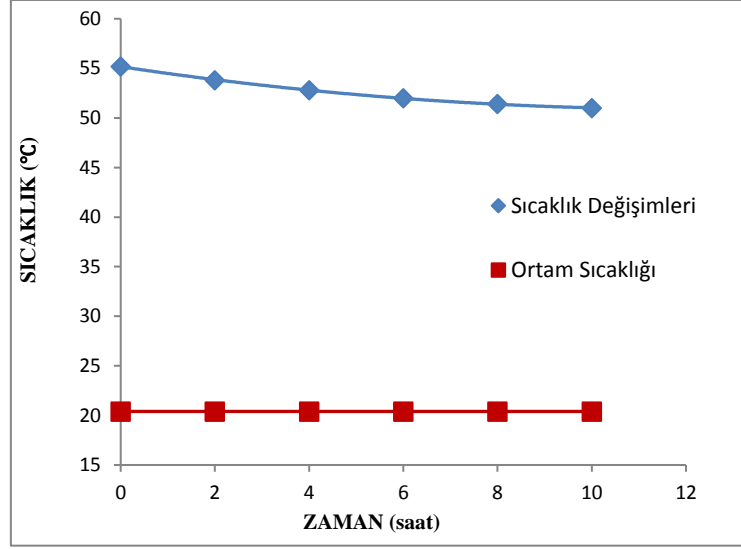
K değeri çekildiğinde Denklem 7 elde edilir.

$$K = \frac{[\ln(T_1 - T_c) - \ln(T_2 - T_c)]}{A\Delta t} \quad (7)$$

Test düzeneğinde, Denklem 7’de görülen $A = 1,173 \text{ m}^2$, $m_d = 98,8 \text{ kg}$, $T_c = 20,4 \text{ }^\circ\text{C}$ dir.

Yukarıda görüldüğü gibi Denklem 7 yardımı ile her bir zaman dilimi için ölçülen sıcaklık değerlerinde (K) toplam ısı geçiş katsayısı hesaplanabilmektedir.

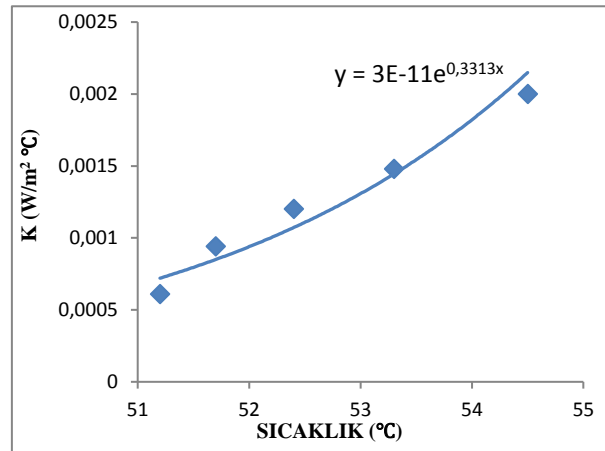
K değerinin hesaplanabilmesi için depodan 2 saat aralıklarla aşağıda verilen sıcaklıklar ölçüldü.



Şekil 4. Depo soğuma grafiği

Ölçülen sıcaklık değerleri kullanılarak zaman aralıklarında toplam ısı geçiş katsayısı (K) Denklem 7 vasıtasıyla hesaplandı.

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



Şekil 5. K değerleri değişim grafiği

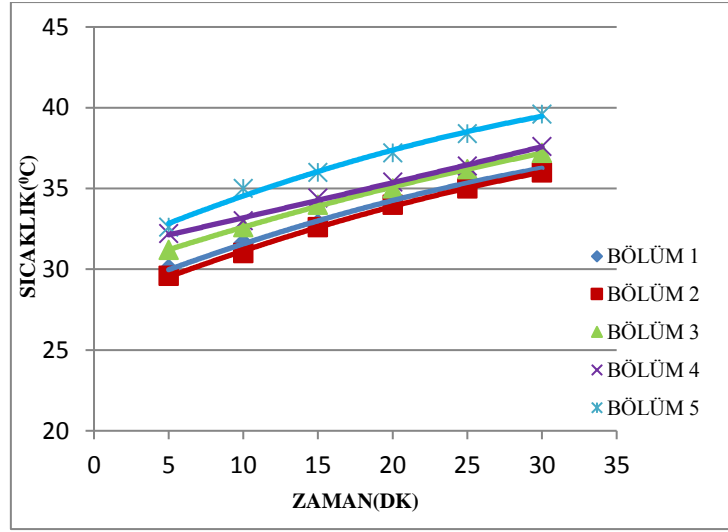
Hesaplanan toplam ısı geçiş katsayısı (K) değerlerinin ortalaması alınarak yeni bir K değeri hesaplandı ve bu değer $1,207 \cdot 10^{-3} \text{ kW/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak bulundu.

3.2 Isı depolama periyodu

Isı depolama sırasında cam yünlü ve cam yünsüz donatılar için 5 er dakika aralıklarla sıcaklıklar ölçüldü ve karşılaştırmalı olarak verildi.

Öncelikli olarak ısı depolama sırasında cam yünlü ve cam yünsüz donatılı tankın 5 bölgesinden eş zamanlı olarak ölçülen sıcaklıklar verilmiştir. Sıcaklıklar $0,0527 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debi değeri için ölçülmüştür.

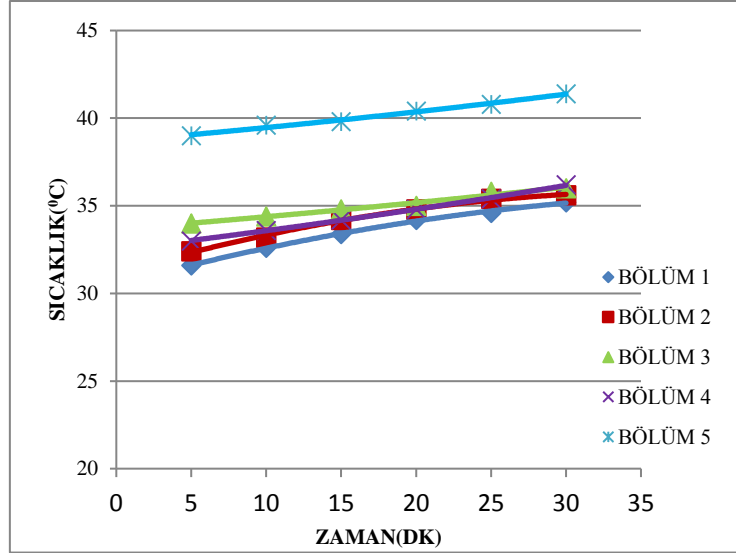
Öncelikli olarak cam yünsüz donatılı ısı depolama tankında ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Cam yünsüz donatılı ısı depolama tankı ısınma grafiği

Şekil 7'de cam yünlü donatılı ısı depolama tankında ölçülen sıcaklıklar verilmiştir.

Isı Geri Kazanım Tanklarında Cam Yünü



Şekil 7. Cam yünü donatılı ısı depolama tankı ısınma grafiği.

Yukarıda görüldüğü gibi cam yünlü donatılı ısı depolama tankında sıcaklık farkları cam yünsüz donatılı termal tanklara göre daha düşüktür. Ancak Şekil 7, Bölüm 5 sıcaklık dağılımı incelendiğinde diğer bölümlerden etkilenmediği gözlemlenmiştir. Bu da

konveksiyon akımlarının azalarak ısı gradyanlarının ve termal katmanlaşmanın korunduğunu bize göstermektedir.

Aşağıda, belirtilen depo için enerji denkliği verilmiştir.

Bu ısı geçişi olayı için zamana göre enerji denkliği yazılırsa;

$$\frac{dU}{dt} \pm \dot{W} = \dot{Q}_{rj} - \dot{Q}_k \quad (8)$$

Denklem 8 elde edilir. $\dot{W}=0$ olarak alındı. Bu denklemdeki \dot{Q}_k kayıp enerji miktarı, \dot{Q}_{rj} spiral borudan geçen enerji miktarıdır. Bu ifadeler Denklem 9 ve 10'daki gibi tanımlanabilir.

$$\dot{Q}_d^g = m_d \frac{du}{dT} \quad (9)$$

$$\dot{Q}_k^g = KA\Delta T_{lm} \quad (10)$$

İfadelerin yerine yazılmış hali Denklem 11 gösterilmiştir.

$$m_d \frac{du}{dt} = \dot{Q}_{rj}^g - KA\Delta T_{lm} \quad (11)$$

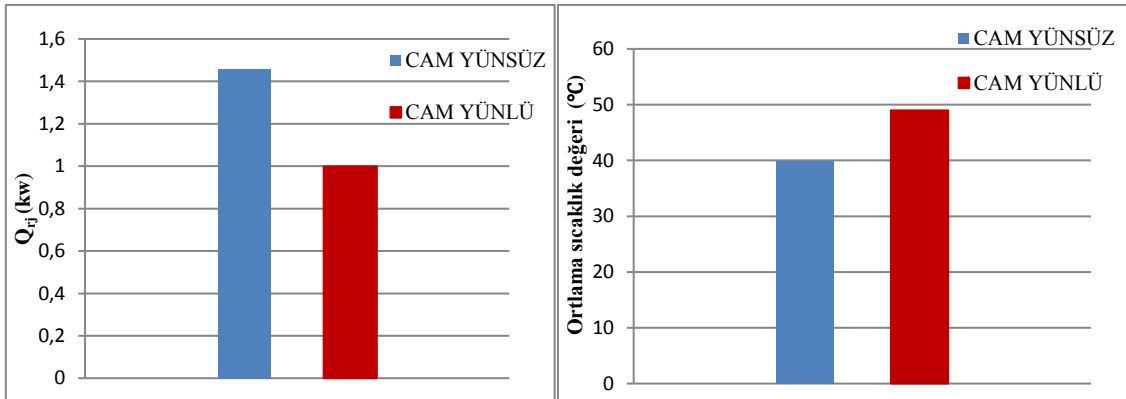
Q_{rj} değeri çekilirse Denklem 12 aşağıda görüldüğü gibi elde edilir

$$\dot{Q}_{rj} = m_d \frac{du}{dt} + KA\Delta T_{lm} \quad (12)$$

Denklem 12 yardımıyla \dot{Q}_{rj} 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.

Ölçülen sıcaklık değerleri ve hesaplanan \dot{Q}_{rj} ortalama değerleri ile cam yünlü ve cam yünsüz donatılı ısı depolama tankları karşılaştırılmıştır.



Şekil 8. Cam yünlü ve Cam yünsüz donatılı Q_{rj} değerleri ve ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 8 gösteriyor ki cam yünsüz donatılı ısı depolama tanklarında ısı transferi daha fazla olmasına rağmen cam yünü donatılı ısı depolama tanklarında daha yüksek sıcaklıkta ısı depolanabilmektedir.

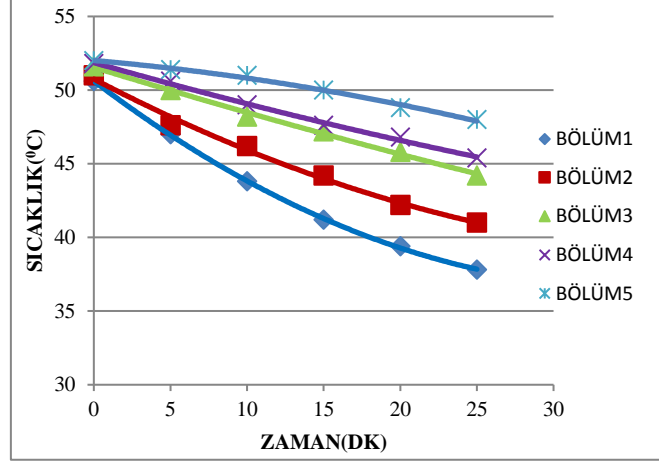
3.3 Isı depolama tankından ısı çekimi periyodu

Isı çekimi sırasında cam yünlü ve cam yünsüz donatılar için 5'er dakika aralıklarla sıcaklıklar ölçüldü ve karşılaştırmalı olarak incelendi.

Isı Geri Kazanım Tanklarında Cam Yünü

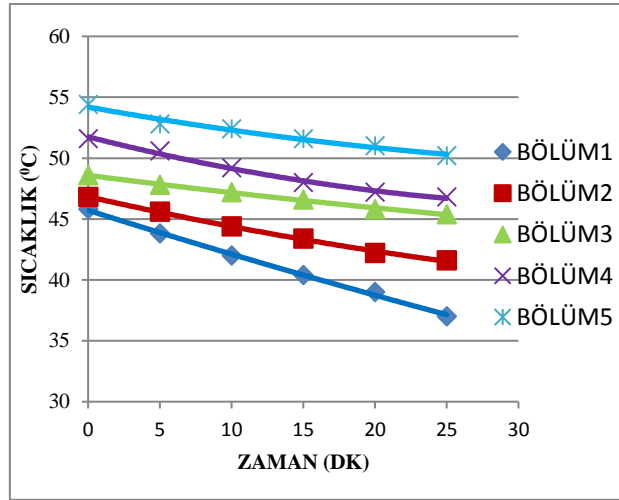
Isı depolama tankından ısı çekilmesi sırasında cam yünlü ve cam yünsüz donatılı tankın 5 bölgesinden eş zamanlı olarak ölçülen sıcaklıklar verilmiştir. Sıcaklıklar 0,0247 m³/s'lik debi değeri için ölçülmüştür.

Şekil 9'da cam yünsüz dağılımlı ısı depolama tankları için sıcaklık dağılımları görülmektedir.



Şekil 9. Cam yünsüz donatılı ısı depolama tankı ısınma grafiği

Şekil 10'da cam yünü donatılı ısı depolama tanklarında sıcaklık dağılımları görülmektedir.



Şekil 10. Cam yünü donatılı ısı depolama tankı ısınma grafiği

Şekil 9 ve 10'da cam yünsüz donatılı sıcaklık farklarının cam yünü donatılı sıcaklık farklarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Aşağıda, belirtilen depo için enerji denkliği verilmiştir.

Bu ısı geçişi olayı için zamana göre enerji denkliği yazılırsa;

$$\frac{dU}{dt} \pm \dot{W} = \dot{Q}_{rj} + \dot{Q}_k \quad (13)$$

Denklem 13 elde edilir. $\dot{W}=0$ dır. Bu denklemdeki \dot{Q}_k kayıp enerji miktarı, \dot{Q}_{tj} , spiral borudan geçen enerji miktarıdır. Bu ifadeler Denklem 8, 9 ve 10'daki gibi tanımlanabilir.

$$\dot{Q}_d^g = m_d \frac{du}{dT} \quad (14)$$

$$\dot{Q}_k^g = KA\Delta T_{lm} \quad (15)$$

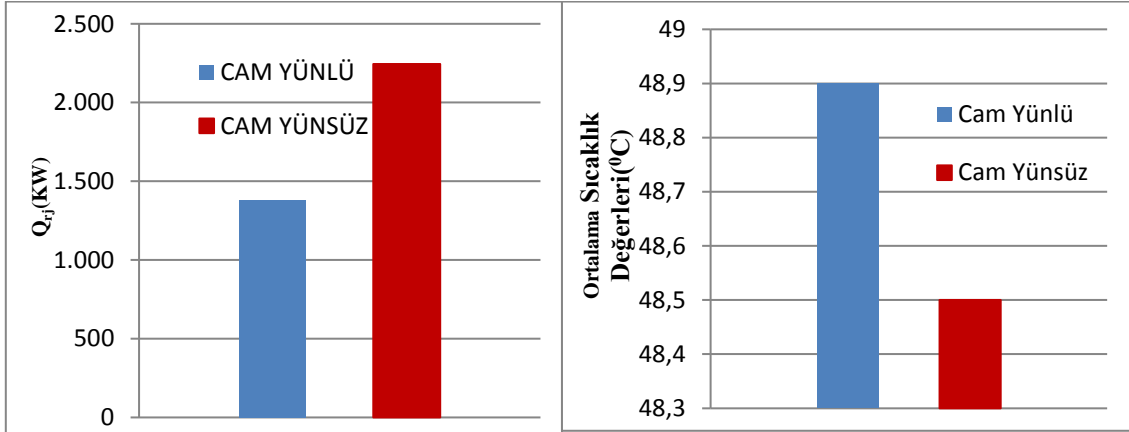
İfadeler yerine yazıldığında Denklem 11 elde edilir.

$$m_d \frac{du}{dt} = \dot{Q}_{tj} + KA\Delta T_{lm} \quad (16)$$

\dot{Q}_{tj} değeri çekildiğinde, Denklem 18 elde edilir.

$$\dot{Q}_{tj} = m_d \frac{du}{dt} - KA\Delta T_{lm} \quad (17)$$

Sonuçların daha iyi görülebilmesi için Şekil 11'de veriler kıyaslamalı olarak verilmiştir



Şekil 11. Cam yünlü ve Cam yünsüz donatılı Q_{rj} değerleri ve ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 11 gösteriyor ki cam yünsüz donatılı ısı depolama tanklarında ısı transferi daha fazla olmasına rağmen cam yünü donatılı ısı depolama tanklarında daha yüksek sıcaklıkta ısı çekilebilmektedir.

4. SONUÇLAR

Yapılan deneyler sonucunda cam yünü donatılı termal tankta ısı gradyanlarının korunduğu ve daha yüksek sıcaklıkta ısı çekildiği görülmüştür. Ancak cam yünsüz termal tankta cam yünlü termal tanka göre daha hızlı ısı transferi olduğu gözlenmiştir.

Tüm bunlar camyünü donatılı termal tankların uzun vadeli depolamalarda cam yünsüz donatılı termal tankların ise kısa vadeli depolamalar için uygun olduğu gözlenmiştir.

5. AÇIKLAMA

Bu metin 1. Uluslararası Yer Altı Zenginlikleri ve Enerji Konferansında bildiri olarak sunulmuştur.

6.KAYNAKLAR

1. G. Li, "Sensible heat thermal storage energy and exergy performance evaluations," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 897–923, Jan. 2016.
2. F. S. J. L. S. Kristin Seyboth, *RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT - Full Report*, no. 3. 2016.
3. H. Paksoy, H. Evldya, B. Turgut, M. Mazman, Y. Konuklu, Ö. Gök, M. Ö. Yılmaz, S. Yılmaz, B. Beyhan, and N. Şahan, "Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Enerji Depolama ile Değerlendirilmesi."
4. M. Kozak, Ş. Kozak, and A. Kelimeler, "ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ ENERGY STORAGE METHOD," *Enerji. Depolama Yöntemleri SDU Int. Technol. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 17–29, 2012.
5. I. Dincer and M. Rosen, *Thermal Energy Storage Systems and Applications*. 2011.
6. R. M. Dickinson, C. A. Cruickshank, and S. J. Harrison, "Charge and discharge strategies for a multi-tank thermal energy storage," *Appl. Energy*, vol. 109, pp. 366–373, 2013.
7. Z. Lavan and J. Thompson, "Experimental study of thermally stratified hot water storage tanks," *Sol. Energy*, vol. 19, no. 5, pp. 519–524, 1977.
8. E. Andersen, "Thermal destratification in small standard solar tanks due to mixing during tapping," 1999.
9. R. Spur, D. Fiala, D. Nevrala, and D. Probert, "Performances of modern domestic hot-water stores," *Appl. Energy*, vol. 83, no. 8, pp. 893–910, 2006.
10. M. Arslan and A. A. Igci, "Thermal performance of a vertical solar hot water storage tank with a mantle heat exchanger depending on the discharging operation parameters," *Sol. Energy*, vol. 116, pp. 184–204, 2015.
11. N. H. Helwa, A. M. Mobarak, M. S. El-Sallak, and H. H. El-Ghetany, "Effect of hot-water consumption on temperature distribution in a horizontal solar water storage tank," *Appl. Energy*, vol. 52, no. 2, pp. 185–197, 1995.