

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISI GERİ KAZANIMI VE DEPOLANMASINDA SICAKLIK
FARKLARININ KORUNMASI İÇİN CAM YÜNLÜ DONATILI
TANKLARIN TERMAL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Korhan ÖKTEN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Ocak 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISI GERİ KAZANIMI VE DEPOLANMASINDA SICAKLIK
FARKLARININ KORUNMASI İÇİN CAM YÜNLÜ DONATILI
TANKLARIN TERMAL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Korhan ÖKTEN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 26.01.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Cenk ÇELİK
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Mustafa ÖZDEMİR
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Asude ATEŞ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Korhan ÖKTEN

26.01.2016

TEŞEKKÜR

Tüm çalışmalarım boyunca tecrübe ve bilgi birikimini benimle paylaşan değerli danışman hocam Doç.Dr. Mustafa ÖZDEMİR'e tüm yardımlarından ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Deney düzeneğini kurmamda bana yardımlarından dolayı babam Mak. Müh. Erdoğan ÖKTEN, abim Bilg. Öğr. Erkan ÖKTEN ve tezime destek sağlayan Elif TEKBAŞLI'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Son olarak bu süreçte beni maddi ve manevi olarak destekleyen tüm aileme minnettarlığımı belirtirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
SİMGE VE KISALTMALAR.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Türkiye’de Enerji Kullanımı.....	2
BÖLÜM 2.	
ENERJİ DEPOLAMA ve ENERJİ DEPOLAMA TİPLERİ.....	6
2.1. Enerji Depolama Tipleri.....	8
2.1.1. Isıl enerji depolama.....	9
BÖLÜM 3.	
ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ ve TÜRLERİ.....	13
3.1. Isı Değişim Şekline Göre Sınıflandırma.....	13
3.1.1. Doğrudan temas olmayan tip.....	13
3.1.2. Doğrudan temas olan tip.....	14
3.2. Akışkan Sayısına Göre Sınıflandırma.....	14
3.3. Yüzey Kompaktlığına Göre Sınıflandırma.....	14
3.4. Isı Geçişi Mekanizmasına Göre Sınıflama.....	15
3.5. Yapısal Özelliklerine Göre Sınıflandırma	15
3.5.1. Borulu ısı değıştiriciler.....	15
3.5.2. Levhalı tip ısı değıştiriciler	16

3.5.3. Kanatlı tip ısı değıştiriciler	16
3.5.4. Rejeneratif ısı değıştiriciler	17
3.6. Akış Şekillerine Göre Sınıflandırma	18
3.6.1. Tek geçişli ısı değıştiriciler	18
3.6.2. Çok geçişli ısı değıştiriciler.....	19
3.7. Isı Transfer Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma	19
 BÖLÜM 4.	
ISI TRANSFER MEKANİZMALAR.....	20
4.1. İletim İle Isı Transferi	20
4.2. Taşınım İle Isı Transferi.....	20
4.3. Işınım İle Isı Transferi	21
 BÖLÜM 5.	
ISIL ENERJİ DEPOLAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
5.1. Deneyin Amacı ve Deneysel Verilerin İncelenmesi	24
5.2. Deney Düzenəğinin Kurulması	24
5.2.1. Su deposu seçimi.....	25
5.2.2. Dolgu maddesi seçimi	26
5.2.3. Spiral borunun seçimi ve yapımı	27
5.2.4. Sıcaklık Ölçüm Mekanizmasının Oluşturulması	29
5.2.5. Su Deposunun Yalıtılması	33
5.3. Deneyin Yapılması.....	35
5.3.1. K Değerinin Hesaplanması	36
5.3.2. Sıcak sulu depo ve içinden soğuk su geçen borulu sistem..	40
5.3.3. Soğuk sulu depo ve içinden sıcak su geçen borulu sistem.....	56
 BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR	73
KAYNAKÇA	74
ÖZGEÇMİŞ...	77

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	:Alan(m ²)
C _v	: Özgöl ısı(kj/kg.K)
C _p	: Özgöl ısı(kj/kg.K)
K	:Birleşik ısı transfer katsayısı (W/m ² .°C)
l	:Uzunluk (mm)
r	:Yarı çap (mm)
M	:Depo kütlesi(kg)
$\dot{m}$	:Kütleli debi (kg/sn)
Q _{depolanan}	:Depolanan enerji(kj)
Q _{kayıp}	:Kayıp enerji(kj)
Q _{rj}	:Spiral boru ile depo arasındaki enerji transferi miktarı(kj)
T _ç	:Çevre sıcaklığı(°C)
T _x	:Logaritmik sıcaklık(°C)
t	:Zaman(sn)
U	:İç enerji(kj)
V	:Hacim(m ³)
q	:Yoğunluk(kg/m ³)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yakıt türlerine göre dünya genelinde enerji tüketimi.....	2
Şekil 1.2. 2013-2034 Yılları Türkiye birincil enerji arzı Artış oranı tahmini.....	4
Şekil 1.3. 1990-2012 Yıllarında Türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı.....	4
Şekil 1.4. 1990-2012 Türkiye birincil enerji üretiminin arzını karşılama oranları.....	5
Şekil 2.1. Duyulur ısı depolama örneği.....	10
Şekil 3.1. Isı değiştiricilerinin konstrüksiyonları.....	15
Şekil 3.2. Rejeneratörlerin sınıflandırılması.....	17
Şekil 5.1. Deponun teknik resmi.....	25
Şekil 5.2. Fıçının görünümü.....	26
Şekil 5.3. Spiral boru.....	28
Şekil 5.5. Spiral borunun depoya sabitlenmiş hali.....	29
Şekil 5.4. Çift taraflı nipel.....	29
Şekil 5.6. Termometre Görünümü ve Ebatları.....	31
Şekil 5.7. Termometre Devresinin Görünümü.....	31
Şekil 5.8. Isı Ölçüm Mekanizmasının Üstten Görünüşü.....	32
Şekil 5.9. Isı Ölçüm Mekanizmasının Yandan Görünüşü.....	32
Şekil 5.10. Su deposunun yalıtılmış hali.....	34
Şekil 5.11. Deney düzeneğinin son hali.....	34
Şekil 5.12. Deponun cam yünü doldurulmuş hali.....	35
Şekil 5.13. Isıl depo soğuma grafiği.....	38
Şekil 5.14. K değeri değişim grafiği.....	39
Şekil 5.15. Cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	43
Şekil 5.16. Cam yünlü sıcaklık değerleri.....	43
Şekil 5.17. Spiral boruya aktarılan ısı güçler.....	45
Şekil 5.18. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları.....	46
Şekil 5.19. Cam yünlü sıcaklık dağılımları.....	47

Şekil 5.20. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depolarda toplam Q_{rj} değerleri.....	48
Şekil 5.21. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depolarda ortalama sıcaklıkları....	49
Şekil 5.22. Cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	50
Şekil 5.23. Cam yünlü sıcaklık değerleri.....	51
Şekil 5.24. Spiral boruya aktarılan ısı güçleri.....	52
Şekil 5.25. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları.....	53
Şekil 5.26. Cam yünlü sıcaklık dağılımları.....	54
Şekil 5.27. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depolarda toplam Q_{rj} değerleri.....	55
Şekil 5.28. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depolarda ortalama sıcaklıkları....	55
Şekil 5.29. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları.....	59
Şekil 5.30. Cam yünlü sıcaklık dağılımları.....	59
Şekil 5.31. Cam yünlü ve cam yünsüz transfer edilen ısı güçleri.....	61
Şekil 5.32. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları.....	62
Şekil 5.33. Cam yünlü sıcaklık dağılımları.....	63
Şekil 5.34. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı Q_{rj} değerleri.....	64
Şekil 5.35. Cam yünlü ve cam yünsüz depoda spiral boru ortalama sıcaklıkları...	64
Şekil 5.36. Cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	66
Şekil 5.37. Cam yünlü sıcaklık değerleri.....	67
Şekil 5.38. Spiral boruya aktarılan ısı güçleri.....	68
Şekil 5.39. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları.....	69
Şekil 5.40. Cam yünlü sıcaklık dağılımları.....	70
Şekil 5.41. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı Q_{rj} değerleri.....	71
Şekil 5.42. Cam yünlü ve cam yünsüz depoda spiral boru ortalama sıcaklıkları...	71

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. 1990-2011 dünya birincil enerji arzı gelişimi.....	3
Tablo 2.1. Bazı duyulur ısı depolama maddelerinin 300 K sıcaklığındaki ısı-fiziksel özellikleri.....	11
Tablo 5.1. Fıçının özellikleri.....	26
Tablo 5.2. Bazı maddelerin özgül ısıları.....	27
Tablo 5.3. Bazı maddelerin k değerleri.....	27
Tablo 5.4. Kullanılan termometre özellikleri.....	30
Tablo 5.5. Cam yünü özellikleri.....	33
Tablo 5.6. Ölçülen sıcaklık değerleri.....	38
Tablo 5.7. Hesaplanan K değerleri.....	39
Tablo 5.8. Cam yünsüz deponun soğuma değerleri.....	42
Tablo 5.9. Cam yünüdeponun soğuma değerleri.....	42
Tablo 5.10. Sıcaklık farkı kıyaslaması.....	44
Tablo 5.11. Kılcal boruya aktarılan enerji miktarı.....	44
Tablo 5.12. Hesap edilen cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	46
Tablo 5.13. Hesap edilen cam yünlü sıcaklık değerleri.....	47
Tablo 5.14. Cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	49
Tablo 5.15. Cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	50
Tablo 5.16. Cam yünlü ve cam yünsüz sıcaklık farkları.....	51
Tablo 5.17. Kılcal boruya aktarılan enerji miktarı.....	52
Tablo 5.18. Hesap edilen cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	53
Tablo 5.19. Hesap edilen cam yünlü sıcaklık değerleri.....	54
Tablo 5.20. Cam yünsüz deponun ısınma değerleri.....	58
Tablo 5.21. Cam yünlü deponun ısınma değerleri.....	58
Tablo 5.22. Cam yünlü ve cam yünsüz sıcaklık farkları.....	60
Tablo 5.23. Depodaki iç enerji değişimi.....	60

Tablo 5.24. Hesap edilen cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	62
Tablo 5.25. Hesap edilen cam yünlü sıcaklık değerleri.....	63
Tablo 5.26. Cam yünsüz deponun ısınma değerleri.....	65
Tablo 5.27. Cam yünsüz deponun ısınma değerleri.....	66
Tablo 5.28. Cam yünlü ve cam yünsüz sıcaklık farkları.....	67
Tablo 5.29. Depodaki iç enerji değişimi.....	68
Tablo 5.30. Hesap edilen cam yünsüz sıcaklık değerleri.....	69
Tablo 5.31. Hesap edilen cam yünlü sıcaklık değerleri.....	70

ÖZET

Anahtar kelimeler: Rejenerasyon, ısı depolama, ısı değiştiriciler, atık ısı

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 sıvı su yaygın olarak depolama kütlesi olarak kullanılmaktadır. Suyun yoğunluğu sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için ısıtma ve soğutma sırasında sıcaklığı değişen su depo içinde konveksiyon akımlarına maruz kalmakta ve ısı geçişini hızlandırmaktadır. Bu durum avantaj olduğu kadar, sıcaklık gradyeni ısı geçişi ile kaybolduğu için ısının depodan geri kazanımı daha düşük bir sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Konveksiyon akımlarını engellemek ve geri kazanılan ısının yüksek sıcaklıkta elde edilmesi için cam yününe emdirilmiş su kullanılması düşünölmüş ve bu çalışmada test edilmiştir. Elde edilen araştırma sonuçlarına göre cam yününe emdirilmiş su kütlesinin katı cisim gibi davranarak geri kazanılan ısının cam yünü olmayan depoya göre daha yüksek sıcaklıkta geri alınabilmesini sağladığı görölmüştür. Diğer taraftan, depolanan enerji miktarın da bir azalma olduğu ve ısı geçiş hızının azaldığı tespit edilmiştir.

THERMAL ANALYSIS OF THE TANKS EQUIPPED WITH FIBREGLASS IN ORDER TO PRESERVE TEMPERATURE DIFFERENCES DURING HEAT RECOVERY AND STORING

SUMMARY

Keywords: Regeneration, heat storage, heat exchangers, waste heat

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, liquid water, which has a high thermal capacity, is commonly used as storage mass. As the density of the water changes depending upon heat, the water, of which heat changed in the course of heating and cooling, is exposed to convection currents in the storage and accelerates its heat transmission. Even though this may seem advantageous at first, as the temperature gradient is lost due to heat exchange, the heat recovery from the storage takes place at lower temperatures. In order to prevent convection currents and to obtain there covered heat at higher temperatures, water that is impregnated with fibreglass has been thought to be used. The test of this idea is the focus of this study. The result of their search shows that water impregnated with fibreglass acts like a solid substance, enabling there covered heat to be retrieved at even higher temperatures than storage which does not involve fibreglasses. However, it was observed that there is a decrease in the amount of stored energy, and the heat transfer rate decreases too.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı 18. yüzyılın ikinci yarısından bu yana teknolojik faaliyetlerin artışı ile birlikte önemli oranda artış göstermiş ve gelişmişliğin bir göstergesi olarak ortaya çıkmıştır [1].

İnsanların yük kaldırma ve tarımsal uygulamalar gibi temel ihtiyaçlarını karşılayabilmek için enerji arayışı içine girmeleri ile başlayan enerji talebi, barınma, aydınlatma, yük ve yolcu taşımacılığı, ısınma, soğutma, haberleşme, üretim vb. gibi konularda da gerekli hale gelmiştir [2].

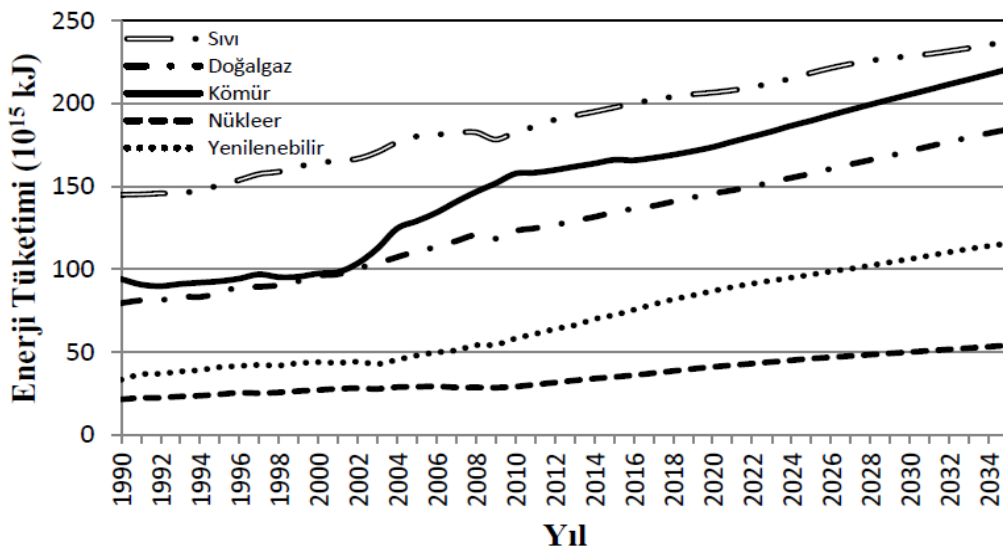
Artan nüfus ve endüstrileşme de enerji ihtiyacının artmasın da önemli bir etkindir. Son yıllarda artan bu enerji talebi devletlerin gelecek politikalarını belirlemesin de de önemli bir yer almaktadır [3,4].

Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında mevcut enerji tüketimi göz önüne alınırsa enerji tüketimi miktarının 2008 yılından 2035 yılına kadar % 53 oranında artacağı tahmin edilmektedir [5].

Enerji kavramı çeşitli formlarda karşımıza çıkmaktadır; ısı enerjisi, elektrik enerjisi, kimyasal enerji, ışık enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi, nükleer enerji gibi. Ancak bu kavramları iki ana grupta toplayabiliriz; yenilenebilir ve tükenebilir enerji kaynakları. Yenilenebilir enerji kaynakları sonsuz enerji olarak görülür ve tekrar tekrar kullanılabilir. Tükenebilir enerji ise tekrar tekrar kullanılamayan ve kısa zaman aralığında tekrar oluşamayan enerji kaynaklarıdır. Bu tür enerji kaynakları, yaşamları milyonlarca yıl önce sona ermiş bitki ve hayvan gibi organik kalıntıların yerkürenin içinden gelen ısı ve bu kalıntıların üzerinde bulunan kayaçlardan kaynaklanan

basıncın birleşmesi sonucu oluşur. Bu kaynakların tekrar oluşması uzun zaman almaktadır [6].

Fosil kaynaklı yakıt kullanımı dünya enerji sektöründe giderek artmaktadır. Bu yakıtların yakılması sonucu karbondioksit (CO_2) gibi zararlı emisyonların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Oluşan bu zararlı gazlar insan sağlığına zarar vermekte, çevre kirliliğine yol açmakta ve sera etkisi oluşturarak iklim değişikliklerine neden olmaktadır [7].



Şekil 1.1. Yakıt türlerine göre dünya genelinde enerji tüketimi

Yakıt türlerine göre dünya genelinde enerji tüketimi Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Petrol esaslı sıvı yakıtlar en geniş enerji kaynağı olmasına rağmen, fosil yakıtlar, dünya genelinde kullanılan enerjinin büyük bir kısmını tedarik etmektedir [8].

1.1. Türkiye'de Enerji Kullanımı

Tüm dünya ülkelerin de olduğu gibi Türkiye de teknolojik endüstriyel ve nüfus bakımından gelişmelere paralel olarak enerji ihtiyacı artmıştır.

Geçen 1990-2011 yılları arasındaki yirmi bir yıldaki birincil enerji (herhangi bir enerji dönüşümünden henüz geçmemiş enerjidir) arzının artışı, Türkiye'de %117

olmuştur. Bu değerleri karşılaştırdınca, Türkiye'nin enerji kullanma artışının oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ancak aynı dönemde, birincil enerji arzı bakımından, Brezilya'nın %94, Hindistan'ın %137, Çin'in ise %212 büyüdüğü görülmektedir (Tablo 1.1) [8,9].

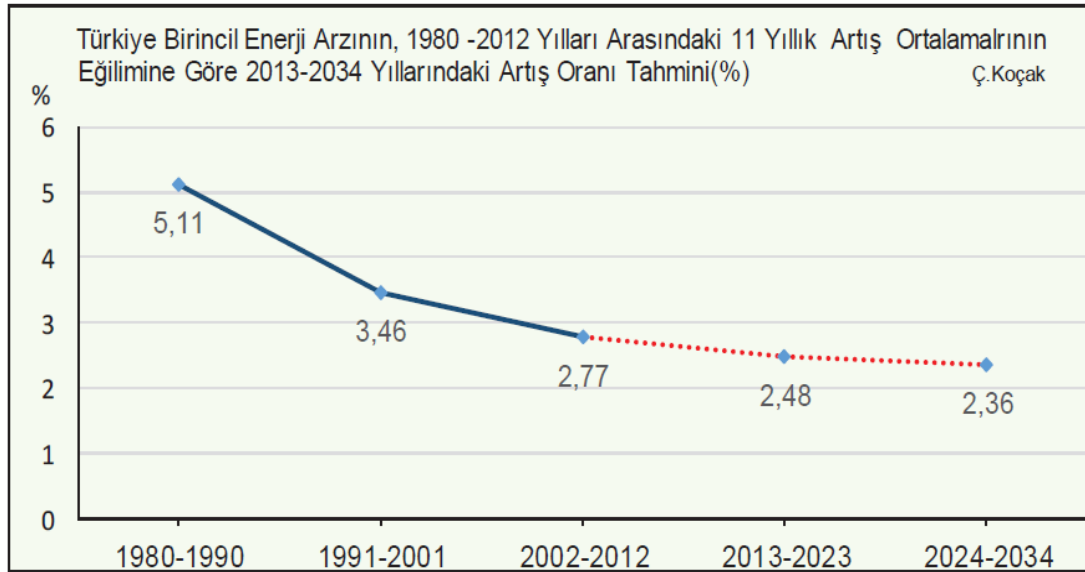
Tablo 1.1. 1990-2011 dünya birincil enerji arzı gelişimi [8].

1990-2011Dünya Birincil Enerji Arzı Gelişimi (mtep)			
Ülke	1990	2011	Artış (%)
Çin	879	2 743	212
Hindistan	317	750	137
Türkiye*	53	115	117
Brezilya	138	267	94
ABD	1915	2 189	14
Japonya	439	461	5
OECD	4 522	5 304	17
Dünya	8 769	13 070	49

Tablo 1.1'de görülen enerji talebinin artışı ülke politikalarında da yerini almış ve alınabilecek önlemlerin belirlenebilmesi için enerji tüketim miktarının gelecek yıllardaki değişimini tahmin etmek önemli bir durum haline gelmiştir.

Yapılan çalışmada; ETBK/EİGM tarafından hazırlanan Genel Enerji Denge Tablolarından yararlanarak, öncelikle Türkiye'nin toplam birincil enerji arzının; 1980-2012 dönemindeki 9, 10, 11, 12 yıllık periyotların ortalama artış oranları belirlenerek oranların grafikleri çizilmiştir.

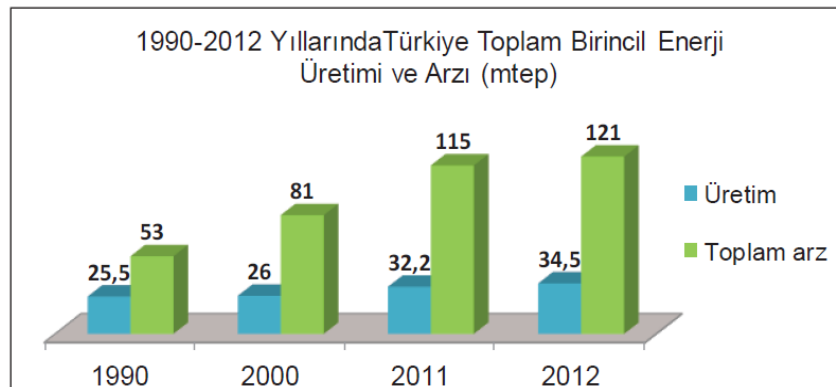
Bir birine benzemekle birlikte, grafikler içinde, eğilim uzantısı hesap edilen, en uygun grafiğin 11 yıllık ortalama artış oranları grafiği olduğu görülmüştür



Şekil 1.2. 2013-2034 Yılları Türkiye birincil enerji arzı Artış oranı tahmini

Böylelikle geçmiş 33 yıldaki birincil enerji arzı artış oranları ile ilgili olarak Türkiye'nin grafiği ortaya çıkmıştır.

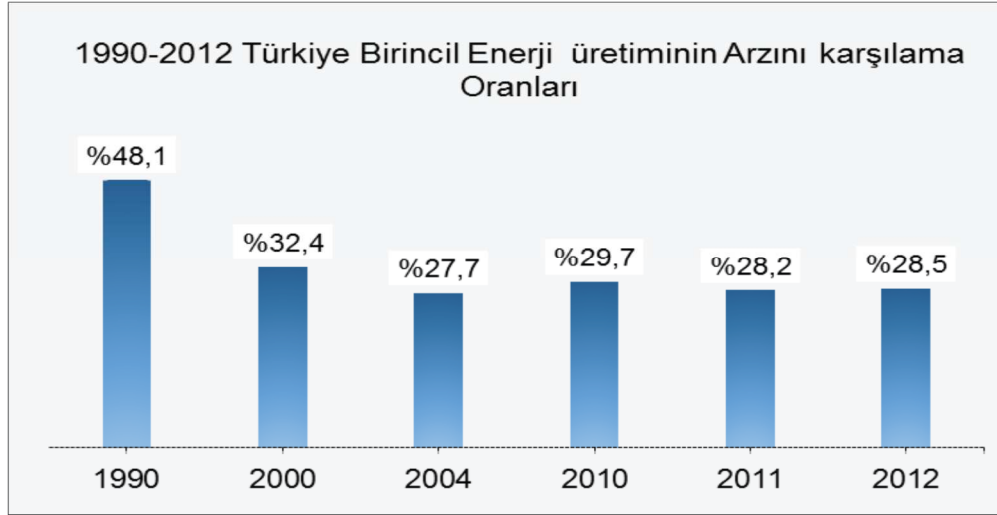
Zaman için de enerji talebi artışı ile birlikte enerji üretiminde de artış yaşanmıştır. Burada önemli olan parametre ise enerji üretiminin enerji tüketimini karşılama oranıdır.



Şekil 1.3. 1990-2012 Yıllarında Türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı[9]

Şekil 1.3 yıllar içerisinde toplam enerji arzı ve enerji üretim miktarı mtep cinsinden gösterilmiştir.

Şekil 1.3'de verilen değerlerle enerji üretiminin enerji arzını karşılama oranı belirlenmiş ve Şekil 1.4'de verilmiştir.



Şekil 1.4. 1990-2012 Türkiye birincil enerji üretiminin arzını karşılama oranları [9]

Şekil 1.4 gösteriyor ki teknolojinin gelişmesine bağlantılı olarak ülkemizdeki enerji talebi ve üretilen, talep edilen enerji miktarları arasındaki fark artmıştır [10].

Tüm bu veriler, çalışmalarını enerji talebi ve enerji üretimi arasındaki farkın azaltılabilmesi için iki farklı alan etrafında toplamıştır. Bunlar; yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolamadır.

BÖLÜM 2. ENERJİ DEPOLAMA ve ENERJİ DEPOLAMA TİPLERİ

Gelişmiş ülkelerde başta olmak üzere jeotermal, güneş, rüzgar ve hidro gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen enerji sistemlerinin kullanımı artmıştır. Her ülke mevcut kaynakları doğrultusunda farklı taraflara yönelmiştir. Ülkelerin kullandığı bu kaynaklara göz atıldığında; 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 [11].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı dünyada önemli noktalara gelirken rüzgâr, güneş vb. bazı çok kullanılan kaynakların sürekliliğinin olamaması ve üretim ve yatırım maliyetlerinin fazlalığı dünya ülkelerini enerji depolama konusunda çalışmalar yapmaya itmiştir. Enerji depolama (ED) yöntemleri, enerji tasarrufu sağlanmakta, verimlilik artırmakta, küresel ısınmayı azaltmakta ve maliyeti düşürmektedir [12].

Enerji depolama tipleri arasında en önemlilerinden biride termal enerji depolamadır. Pek çok ülkede TED sistemleri kullanılmakta ve CO₂ salınımı ciddi olarak azaltılmaktadır. 1970’den bu yana beri Uluslar arası Enerji Ajansı Enerji Depolaması ile Enerji Tasarrufu Uygulama Antlaşması (IEA ECES-IA) çerçevesinde 13 OECD ülkesi TED sistemlerinin araştırma-geliştirme çalışmalarını sürdürmektedir [13].

Almanya enerji kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonu salımın da 2005 yılı öncesinde yaklaşık %25’lik bir azalma sağlamıştır. Bu başarılı düşüşü, içerisinde

TED uygulamaları da olan ve alternatif enerji teknolojilerini destekleyen ciddi bir programlar ile sağlamışlardır. Almanya'nın şimdiki uzun vadeli hedefi ise 2050 yılına kadar fosil yakıtlardaki kullanımı %50 oranında azaltmaktır. Almanya'da şu an 8 adet büyük ölçekli, güneş enerjisi destekli farklı TED sistemleri kullanan yerleşim merkezleri inşa edilmiştir. Alman Federal Cumhuriyeti Parlamento Binası Reichstag , şu an kojenerasyon sisteminden atılan atık ısının akiferde depolanması ile ısıtılıp soğutulmaktadır. Binalarda kullanılan Mikro kapsüllenmiş FDM'ler ilk olarak Almanya'da tasarlanmış ve kullanımına başlanmıştır [14].

Hollanda Akifer Termal Enerji Depolamasında (ATED) uygulama sayısı açısından dünya lideri konumundadır. 2006 yılı rakamlarına göre ülkede yaklaşık 600 adet ATED uygulaması bulunmaktadır [15]. Bahsi gecen ATED uygulamaların %78'i konutlarda, %12 si sanayide ve %10 da ziraat sektöründe olmuştur. Hollanda'daki büyük binalarda ATED uygulaması artık standart bir seçenek haline gelmiştir. Ülke çapında 2020 yılına kadar 15 PJ yada bir başka değilse 200.000.000 m³ doğal gaz kullanımına eşdeğer miktardaki enerji ihtiyacı TED uygulamaları ile karşılanacaktır [16].

Kanada dünyanın en büyük yer kaynaklı ısı pompası uygulamasına sahiptir. Sistem Ontario Üniversitesi Teknoloji Enstitüsünde olup, 200 metre derinliğinde 370 adet kuyu içermektedir [17]. Alberta Kanada'da bulunan Okitoks kasabası Kuzey Amerika'daki ilk merkezi güneş enerjisi ile ısıtma sistemine ev sahipliği yapmaktadır. Sistem güneş enerjisinin yeraltındaki kanallar aracılığı (BTED) ile depolanması ve depolanan bu enerjinin kış ayları boyunca bina ısıtmasında kullanılması prensinde dayanmaktadır. Bu dünyadaki ısıtma yükünün %90'nın güneş enerjisinden karşılandığı ilk projedir. Bu uygulama sonucunda ev başına yılda 5 ton sera etkisine yol açan gazının atmosfere salınımı azaltılmıştır [18].

ABD'de ise buz depolaması özellikle soğutma işleminden kaynaklanan enerji yükünün azaltılması amacı ile kullanılmaktadır. ABD'de bulunan ve iklimlendirmeye ihtiyaç duyan tüm binalarda buz depolaması uygulaması yapılırsa, şuanki enerji üretim ve iletim hatlarından %40 daha azına ihtiyaç duyulacağı tahmin edilmektedir [19].

2.1. Enerji Depolama Tipleri

Enerji depolama çeşitlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

Kimyasal

1. Termokimyasal
2. Fotokimyasal
3. Sentetik yakıtlar
4. Elektrokimyasal (Bataryalar ve yakıt hücreleri)

Elektriksel

1. Kapasitör
2. Süper iletken manyetik enerji depolama

Mekaniksel

1. Sıkıştırılmış hava ile enerji depolama
2. Flywheel (mekanik bataryalarda) enerji depolama
3. Hidrolik akümülatör

Potansiyel

1. Hidro elektrik

Isıl enerji depolama

1. Duyulur ısı depolama
2. Faz değişimli ısı depolama

2.1.1. Isıl enerji depolama

Enerjinin depolanabildiği birçok yöntem bulunmasına rağmen uygulamadaki kolaylığı sebebiyle ısı enerji depolama (IED) yöntemi en çok kullanılan depolama türüdür. Isıl enerji depolama (IED) yüksek veya düşük sıcaklıktaki ısı enerjinin kısa ve uzun vadede depolanmasına ve tekrar kullanılmasına olanak sağlar [20].

Isıl enerji depolama (IED) uygulamaları genellikle ısıtma veya soğutma sistemlerin de atık ısının depolanarak başka bir proste kullanılmasına dayanır. Bu durum mevcut yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından maksimum ölçüde faydalanmamızı sağlamaktadır. Bu özelliklerinden dolayı ısı enerji depolama yöntemleri fosil yakıtların kullanımını azaltarak sera etkisini azaltır böylece çevre ile dost sistemler kurmamızı sağlar [21].

Bu yöntem 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) [22]

2.1.1.1. 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.

Depolanan ısı enerji miktarı ortamın özgül ısısına C_p , sıcaklık değişimine ΔT ve depolama maddesinin miktarına (m) bağlıdır

$$Q = \int_{T_i}^{T_s} mC_p dT = mC_p(T_s - T_i) = \rho_p C_p \Delta T \quad (2.1)$$

Eşitlikde v (m^3) maddenin hacmi, ρ (kg/m^3) maddenin yoğunluğu ve C_p ($kJ/kg \cdot K$) sabit basınçtaki özgül ısıdır. Eşitlik belli bir hacimde ve ΔT sıcaklık farkında depolanacak ısının miktarı maddenin hacimsel özgül ısısı ($\rho.C_p$) ile orantılıdır [23].



Şekil 2.1. Duyulur ısı depolama örneği [15]

Duyulur ısı depolamada maksimum ısı depolayabilmek için seçilen malzemenin ısı kapasitesinin büyük olması gerekir. Bununla birlikte yanıcı olmaması, uzun süre özelliklerini koruması, ucuz ve kolay elde edilebilir olması, zehirli ve korozif olmaması da önem arz etmektedir. Elde edilebilme kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle daha çok su veya çakıl taşı tercih edilmektedir. Tablo 2.1’de bazı duyulur ısı depolama maddelerinin ısı-fiziksel özellikleri verilmiştir [24,25,26].

Tablo 2.1. Bazı duyuylur ısı depolama maddelerinin 300 K sıcaklığındaki ısı-fiziksel özellikleri [24,27]

Malzeme	Yoğunluk(ρ) (kg/m ³)	Isı iletim kat.(k) (W/mK)	Özgöl ısı(c_p) (J/kg K)	Isı yayılım kat. (10 ⁻⁶ m ² /s)	Isı kapasitesi (10 ⁶ J/m ³ K)
Alüminyum	2702	237	903	97,13	2,44
Karbon çeliğı	7854	60,5	434	17,75	3,41
Saf demir	7870	80,2	447	22,8	3,52
Bakır	8933	401	385	117	3,44
Su	996	0,615	4178	0,15	4,16
Cam	2710	0,760	837	0,33	2,27
Çakıl taşı	2050	1,73	1840	0,46	3,77

Tablo 2.1'de görüldüğü gibi ısı kapasitesi en yüksek maddelerden biri sudur. Kolay ulaşılabilirliği, ucuzluğu ve uzun süre kullanılabilmesi suyu ısı enerji depolama uygulamalarında ön plana çıkarmaktadır. Bu avantajlar göz önüne alınarak, yapılan deneylerde enerjinin depolandığı donatı olarak su kullanılmıştır.

2.1.1.2. Faz Değişimi ile ısı depolama

Maddeler belirli bir sabit sıcaklıkta faz değiştirirler. Bu faz değiştirme sırasında maddenin iç enerjisindeki artışla yapılan enerji depolama yöntemine faz değişimi ile ısı depolama denir. Maddelerde katı-katı, katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-sıvı ve sıvı-gaz faz değişimlerinde enerji absorblanabilir ya da salınabilir.

Katı gaz ya da sıvı gaz faz değişimlerinde depolanan enerji miktarı fazla olmasına rağmen faz değişimi sırasında hacim değişiklikleri çok büyük olduğundan çok tercih edilmemektedir. Sıvı-sıvı ve katı-katı enerji depolamada da çok az miktar depolama yapılabildiği için en uygun faz değiştirme katı-sıvı arasında olmaktadır. Bu faz değişimi sırasında hacim değişimi (% 10 veya daha az) oldukça küçüktür [28,29].

FDM'li bir faz değişimi ile ısı enerji depolama sisteminin enerji depolama kapasitesi denklem 2.2 ile hesaplanabilir.

$$Q = mH_e \quad (2.2)$$

Denklem de m kütle, H_e (kJ/kg) erime faz değişimi ile ısısı, Q erime faz değişimi ile ısısını ifade eder.

BÖLÜM 3. ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ ve TURLERİ

Isı değıştirciler farklı amaçlarla ve farklı branşlarda kullanıldığından ısı değışim şekline, akışkan sayısına, yapısal özelliklerine, akış şekillerine, ısı transfer mekanizmalarına göre sınıflandırılırlar [30].

3.1. Isı Değışim Şekline Göre Sınıflandırma

Isı değıştircileri, akışkanlar arasında veya katı cisimlerle akışkan arasında doğrudan veya dolaylı olmasına göre ikiye ayrılır.

3.1.1. Doğrudan temas olmayan tip

Sıcak ve soğuk akışkanın birbirine karışmadığı sistemlerdir. Isı enerjisi bir ısı transferi yüzeyi (akışkanları ayıran bir cidar) boyunca sıcak akışkan ile soğuk akışkan arasında hareket eder [31].

1. Doğrudan transfer tipi
2. Depolama tipi
3. Akışkan yatak

Doğrudan transfer tipi ısı değıştircilerinde; sıcak ve soğuk akışkan arasında ısı transferinin sağlandığı bir düzlem vardır. Bu düzlemde ısı doğrudan transfer edilir. Reküperatör adı verilen bu ısı değıştircilerinde akışkanlar birbirine karışmaz. Borulu, levhalı ve kanatlı tip ısı değıştirciler bu tip ısı değıştircilere örnektir.

Depolama tipi ısı değıştircilerde; Bu ısı değıştirciler de mevcut bir ara yüzden iki farklı sıcaklıkta akışkan geçirilir. Öncelikli olarak sıcak akışkan ara yüzden geçer ve

ısını ara yüze verir daha sonra soğuk akışkan ara yüzden geçirilerek ara yüzün ısısı soğuk akışkana geçer böylece ısı transferi sağlanmış olur. Isı transfer yüzeyi ya da akış alanı genellikle matris denilen hücresel yapıdadır veya delikli, geçirgen katı malzemedendir, Bu tür ısı değiştiricilere rejeneratif tip ısı değiştiriciler denir.

Akışkan yataklı ısı değiştiricilerde ise; Akışkanlardan bir tanesi kendi akış alanında ilerlerken, diğer akışkan yeterince hızlanınca katı partiküller akışkana yapışarak, diğer maddenin akış alanı etrafında homojen olarak dağılır. Böylece soğuk madde ile sıcak katı madde arasında ısı transferi gerçekleşmiş olur [32].

3.1.2. Doğrudan temas olan tip

Bu tip ısı değiştiriciler de iki akışkan arasında direk temasta bulunarak ısı transferi gerçekleşir ve tekrar ayrılırlar. Isı transferinin yanı sıra kütle transferi de gerçekleşir. Ara yüzey bulunmadığından ısı transfer miktarı fazladır. Bu tür ısı değiştiricilerin imalatı ucuz ve doğrudan temaslı olduğu için tıkanma problemi olmaz. Örnek olarak Soğutma kuleleri, püskürtmeli ve tablalı yoğuşturucular verilebilir [32].

3.2. Akışkan Sayısına Göre Sınıflandırma

Genellikle ısıtma ve soğutma işlemleri iki akışkan arasında gerçekleşir. Bazı kimyasal işlemlerde 3 akışkanlı ısı değiştiricilerde kullanılmaktadır. Bunun yanında 12 akışkana kadar bileşen içeren kimyasal işlemler olduğu bilinmektedir.

3.3. Yüzey Kompaktlığına Göre Sınıflandırma

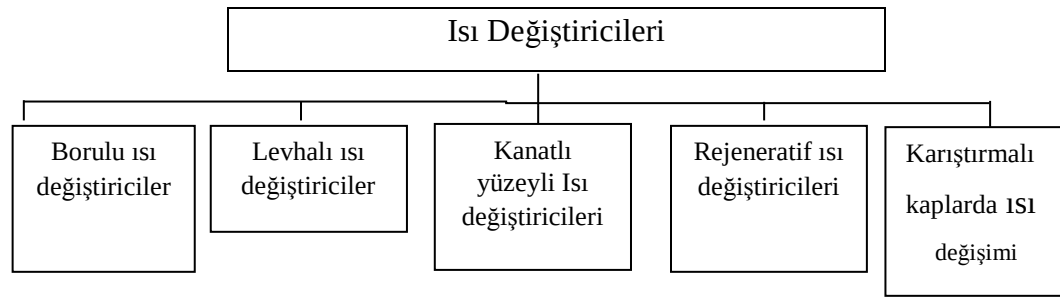
Kompaktlık, alanın hacme oranıyla hesaplanan bir özelliktir. Bu oran (β) $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerinden büyük ise kompakt, küçük ise kompakt olmayan ısı değiştiriciler olarak sınıflandırılır [33].

3.4. Isı Geçişi Mekanizmasına Göre Sınıflama

İki tarafta da tek fazlı akış, bir tarafta tek fazlı diğer tarafta çift fazlı akış, iki tarafta da çift fazlı akış, taşınım ve ışınlama ile beraber ısı geçişi olmak üzere dörde ayrılır.

3.5. Yapısal Özelliklerine Göre Sınıflandırma

Isı değiştiriciler genellikle yapısal özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Dört ana tip ise; borulu, levhalı, kanatlı ve rejeneratör tipleridir.



Şekil 3.1. Isı değiştiricilerinin konstrüksiyonları

3.5.1. Borulu ısı değiştiriciler

Borulu ısı değiştiriciler de yuvarlak, eliptik, prizmatik, burulmuş tip borular kullanılır. Ancak uygulamada en çok yuvarlak kesitli borulu ısı değiştiriciler kullanılır. Bu tip ısı değiştiriciler sıvı-sıvı veya faz değişimli uygulamalar için kullanılır. Bu tür ısı değiştiriciler yüksek basınç farkı bulunan akışkanlarda kullanılır. Borulu ısı değiştiricileri; Gövde-boru, çift boru ve spiral boru olmak üzere üçe ayrılırlar.

Gövde borulu ısı değiştiriciler; endüstriyel alanlarda herhangi kapasitede veya çalışma ortamında kullanılabildikleri için oldukça yaygındır.

Çift borulu ısı değiştiriciler; iç içe geçmiş iki boru bulundurulur. İçteki boru kanatçıklı veya düz olabilir. Bir akışkan içteki boruda, diğeri ise iki boru arasında hareket eder.

Spiral borulu ısı değıştirciler; bir gövde içersine spiral şeklinde sarılmış iç içe bir ya da birden fazla borudan oluşur. Bu tip ısı değıştircilerin zorluğu spiral borunun temizlenmesindeki zorluklardır.

3.5.2. Levhalı tip ısı değıştirciler

Bu tip ısı değıştirciler ince levhalardan üretilirler. Bu yüzden yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı değillerdir. Levhalar düz ya da girintili çıkıntılı olabilir. Contalı, spiral levhalı, lamelli olarak üçe ayrılırlar.

Contalı levhalı ısı değıştirciler; Levhaların dört köşesinden contalar yardımıyla akışın yönlendirilebildiği bir ısı değıştircidir. Akışkanlar birbirine karışmazlar. Levhalar sıkıştırma çubukları yardımıyla sıkıştırılır ve gerektiğinde sisteme levha eklenip çıkartılarak ısı kapasitesi değıştirilebilir.

Spiral levhalı ısı değıştircilerde ise; İki metal şerit helisel olarak sarılarak ısı transferi için iki akışkan yolu oluşturulmuştur. Bu plakalar iç içe sarıldığından dolayı bu tür ısı değıştircilerin çapı oldukça fazladır. Bu sistemlerin ısı transfer katsayıları gövde-boru tip ısı değıştircilerinden fazla olmak la birlikte levhalı ısı değıştircilerinden azdır.

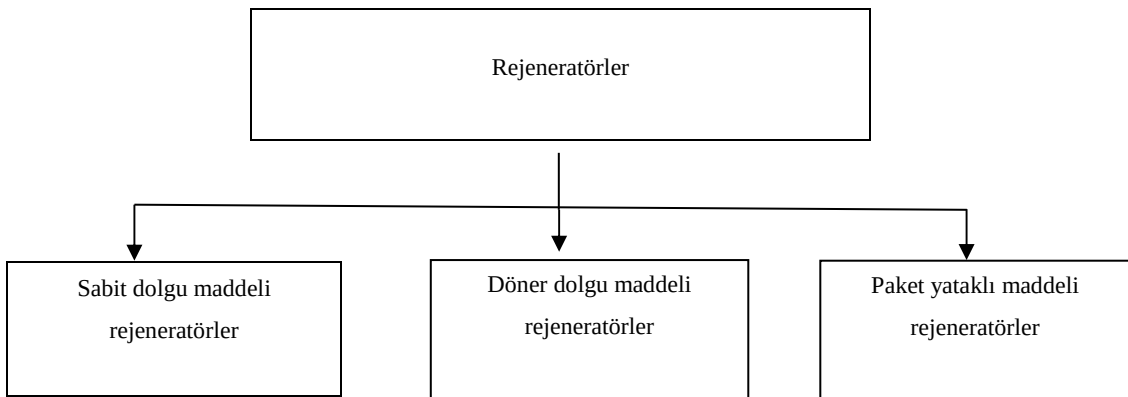
Lamelli ısı değıştircileri; bir grup boruyu saran bir levha gövdeden oluşur. Bu borular düzleştirilmiş ince borulardır. Bu tip ısı değıştirciler genellikle selüloz ya da kağıt endüstrisinde kullanılırlar.

3.5.3. Kanatlı tip ısı değıştirciler

Isı değıştircisinin verimi artırılmak isteniyorsa ısı değıştircisinin kompaktlığı artırılmalıdır. Kompaktlık artırmak için ise ısı değıştircisinin yüzey alanı artırılmalıdır. Bu tip ısı değıştirciler yüzey alanı artırmak için tasarlanmaktadır. Kanatçıklı levha ve kanatçıklı boru olmak üzere iki şekildedir [32].

3.5.4. Rejeneratif ısı değiştiriciler

Rejeneratif tip ısı değiştiriciler de ısı sıcak akışkanın bir yüzeyden geğmesiyle yüzey ısıtılır. Daha sonra aynı yüzeyden soğuk akışkan geçirilerek ısı sıcak akışkandan soğuk akışkana aktırılmış olur. Bu tür ısı değiştiricilere rejeneratör adı da verilmektedir.



şekil 3.2. Rejeneratörlerin sınıflandırılması

3.5.4.1. Sabit dolgu maddeli rejeneratörler

Sabit dolgu maddeli rejeneratörlerde; sıcak ve soğuk akışkan birbirinin peşi sıra kanallardan geğerler. Sıcak akışkan rejeneratörün kanallarından geğerek yüzeyi ısıtır. Daha sonra sıcak akışkan geğişi kesilir ve soğuk akışkan gönderilir. Soğuk akışkan yüzeyle temas ederek ısıyı çeker. Böylece ısı transferi geręekleşmiş olur.

3.5.4.2. Döner dolgu maddeli rejeneratörler

Döner tip rejeneratörlerde ısının depolandığı dolgu maddesi(matris) dönmektedir. Dolgu maddesinin bir bölümünden sıcak akışkan geğerken diğer bölümünden soğuk akışkan geçer. Dolgu maddesi içindeki tüm kanallar bir süre sıcak akışkan bölgesinde kalır. Daha sonra soğuk akışkan bölgesine geğmektedir. Böylece ısı belirli aralıklar ile sıcak akışkandan soğuk akışkana aktarılmış olur.

Döner tip rejeneratörler disk ve silindir (kasnak) tip olmak üzere ikiye ayrılır. Disk tipi rejeneratörlerde, ısı transfer yüzeyi disk şeklindedir. Kasnak tipi rejeneratörde ise dolgu maddesi içi boş silindir şeklindedir.

3.5.4.3. Paket yataklı maddeli rejeneratörler

Paket yataklı rejeneratörlerin konstrüksiyonları çok basit olmalarına karşın basınç kayıpları oldukça fazladır [34].

3.6. Akış Şekillerine Göre Sınıflandırma

Isı değiştiricilerinde akış şeklinin belirlenmesi; verim, basınç düşümü, minimum maksimum hızlar, akış güzergâhları, termal kaynaklı stresler, sıcaklık seviyeleri, borulama işlemleri ve diğer tasarım kriterlerine göre yapılır. Tek geçişli ve çok geçişli olmak üzere ikiye ayrılırlar.

3.6.1. Tek geçişli ısı değiştiriciler

Tek geçişli ısı değiştiriciler; zıt yönlerde akış, paralel akış, karşı akış olarak 3 ana bölüme ayrılır.

Zıt yönlerde akış modelinde; akışkanlar zıt yönlerde doğru fakat paralel şekilde hareket ederler. Diğer modellere göre termodinamik açıdan üstündür.

Paralel akış modelinde ise; akışkanlar ısı değiştiricisine aynı yerden girer ve aynı yerden çıkarlar, yüksek verim gerektiren uygulamalarda kullanılmazlar.

Karşı akışlı modelde, Akışkanlar ısı değiştiricisinin içinde birbirlerine dik yönde hareket ederler.

3.6.2. Çok geçişli ısı değiştiriciler

Isı değiştiricilerin verimleri dūřuk, dūřuk akışkan hızlı ya da ısı değiştirici boyunun uzun olması durumlarında çok geçişli ısı değiştiriciler tercih edilir. Bu tip ısı değiştiricilerin en önemli özelliği toplam verimin yalnızca bir geçişin veriminden yüksek olmasıdır.

3.7. Isı Transfer Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma

Termal enerjiyi, ısı değiştiricinin bir tarafındaki akışkandan ara yüzeye aktarmak için kullanılan temel ısı transfer mekanizmaları; tek faz konveksiyon (zorlanmış ya da doğal), iki faz konveksiyon (zorlanmış ya da doğal konveksiyon aracılığıyla yoğuşma veya buharlaşma) ve birleşik konveksiyon ve radyasyon ısı transfer mekanizmalarıdır. Tek faz konveksiyon ile ısı transferi yapılan değiştiricilere örnek olarak otomotiv radyatörleri, yolcu kabini ısıtıcıları, ekonomizrler gösterilebilir. İki faz konveksiyona ise klimaların buharlaştırıcıları örnek verilebilir. Çok bileşenli iki faz konveksiyon, genellikle hidrokarbonların damıtılması sırasında karışık buharların yoğuşmasında görülür. Bunlara ek olarak; fosil yakıtlı enerji santrali kazanlarında radyasyon ile ısı transferi önemli bir yer tutmaktadır [32].

BÖLÜM 4. ISI TRANSFER MEKANİZMALAR

Isı transferi 3 farklı şekilde olur; iletim(kondüksiyon),taşınım(konveksiyon) ve ışıınım (radyasyon). Bu transfer mekanizmalarının tümünün ortak özelliği ise sıcaklık farkı gerektirir ve yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru ısı transferi gerçekleşir.

4.1. İletim İle Isı Transferi

İletim, iki malzeme arasındaki etkileşimlerden dolayı yüksek sıcaklıktaki maddeden düşük sıcaklıklı maddeye enerji geçişiyle meydana gelir. İletim katılarda, sıvılarda veya gazlarda olabilir.

Gazlarda ve sıvılarda iletim moleküllerin birbiriyle çarpışmasıyla gerçekleşirken katılarda ise serbest elektron ve moleküllerin titreşimiyle gerçekleşir.

$$Q_{iletim} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (4.1)$$

$$Q_{iletim} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki bu denklem Fourier ısı iletim denklemi olarak bilinir. Formülde dT/dx sıcaklık gradyanı, k ısıl iletkenlik katsayısı ve A ısı transfer alanıdır.

4.2. Taşınım İle Isı Transferi

Birbiriyle temas halindeki iki akışkanın arasındaki ısı aktarım türüne taşınım denir. Akışkanın hızı arttıkça taşınım ile ısı transfer miktarı da artmaktadır.

Akışkan fan veya pompa gibi bir makine yardımıyla akmaya zorlanıyorsa bu zorlanmış taşınım olarak adlandırılır. Akışkanın sıcaklık değişimi nedeniyle oluşan yoğunluk farkından dolayı meydana gelen konveksiyon hareketi doğal taşınım olarak adlandırılır.

Taşınımın karmaşıklığına rağmen, taşınımın ısı transfer hızının sıcaklık farkıyla orantılı olduğu gözlenir ve Newton' un soğutma kanunu olarak ifade edilir.

$$Q_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (4.3)$$

Bu denklemde h ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) ısı transfer katsayısı A_s (m^2) taşınımın olduğu yüzey alanı, T_s ($^\circ C$) yüzey sıcaklığı ve T_{∞} ($^\circ C$) ise yüzeyden yeteri kadar uzaklıkta akışkan sıcaklığıdır.

4.3. Işınım İle Isı Transferi

Işınım, atom veya moleküllerden yayılan elektromanyetik dalgalar aracılığıyla yayılan enerjidir. Taşınım ve iletimle arasındaki fark aracı ortama ihtiyacı yoktur. Işınım en hızlı ısı transferi mekanizmasıdır. Güneş enerjisinin dünyaya ulaşması ışıınıma örnektir.

Cisimlerin sıcaklıklarından dolayı yaydıkları ışıınım türü ısı ışıınımıdır ve diğer ışıınım türlerinden farklıdır. Cisimler mutlak sıfırın üzerinde her sıcaklıkta ışıınım yapar. Termodinamik sıcaklığına sahip bir yüzeyden yayılabilecek maximum ışıınım hızı Stefan-Boltzman kanunu ile;

$$Q_{\text{yayılan max}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (4.4)$$

Burada $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ değeri Stefan-Boltzman sabitidir. Maksimum hızla ışıınım yayan ideal yüzeye kara cisim denir. Bütün gerçek yüzeylerden yayılan ışıınım, aynı sıcaklıktaki kara cisimden yayılan ışıınımdan azdır.

$$Q_{\text{yayılan}} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (4.5)$$

Burada ϵ yüzeyin yayıcılığıdır. Değeri $0 \leq \epsilon \leq 1$ aralığında değişir. $\epsilon=1$ değeri kara cisimi ifade eder.

Yüzeyin önemli bir özelliği de soğurganlıktır ve aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$Q_{\text{soğurulan}} = a Q_{\text{gelen}} \quad (4.6)$$

a cismin soğurganlığıdır ve $0 \leq a \leq 1$ değerleri arasındadır [35].

BÖLÜM 5. ISIL ENERJİ DEPOLAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bilindiği üzere enerji yok olmamakta sadece niteliği değişmektedir. Atık ısı şeklinde niteliğini kısmen kaybetmiş enerjinin kullanılabilecek 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 büyüktür [36].

Atık ısı depolamada ısıнын iç enerji olarak bir kütleye aktarılması en yaygın uygulamadır. Ancak faz değiştirmeyen bir maddeye ısı verildiğinde sıcaklığın artması söz konusu olduğundan dolayı ısı kaynağının sıcaklığı ile ısı depolanacak kütlenin sıcaklığı arasındaki fark, ısı depolandıkça azalmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak, ısı geçiş hızı azalırken depolanan ısıнын niteliği artmaktadır. Bir diğer deyimle, ısıнын mümkün olduğu kadar yüksek bir sıcaklıkta depolanması sağlanmaktadır. Bu gerçeklikten hareket ile mümkün olduğu kadar büyük miktarda ısı depolamak için özgül ısıısı 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 ısıнын niteliğinin ve kullanabilirliğinin 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 maliyeleri hem de koku ve yangın emniyet tedbirleri nedeniyle özel önlem alınması gerektiğinden pahalı bir çözüm olmasından dolayı her zaman tercih edilmemektedir.

5.1. Deneyin Amacı ve Deneysel Verilerin İncelenmesi

Bu çalışmanın amacı 50-55 °C sıcaklığında atık ısı depolayabilecek sıvı su bazlı depolama yöntemi için ısı geçişleri sırasında depo içerisindeki suyun sıcaklık gradyanında ki değişimleri inceleyerek ısı yükleme ve boşaltma periyotlarını iki farklı donatı ile ortaya koymaktır. Depo içi donatılar;

Isı alışverişi yapan spiral kıvrılmış boru depo içinde doğal taşınım yapabilen su içerisinde bulunmaktadır.

Isı alışverişi yapan spiral kıvrılmış boru depo içinde ısıyı depolayacak olan su cam yününe emdirilerek doğal taşınım yapması engellenmiştir.

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

5.2. Deney Düzenekinin Kurulması

Deney düzenekinin oluşturulması için bir depoya, spiral bir boru sistemine, sıcaklık değerlerinin ölçülebilmesi için sensörlere ve sıcaklık değerlerini okuduğumuz bir ısıölçere ihtiyaç olduğu belirlendi.

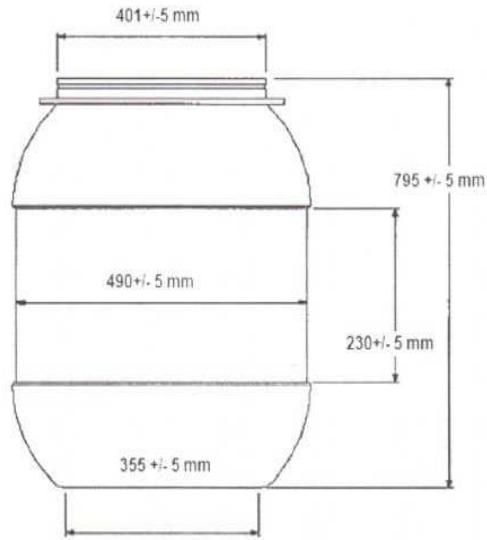
5.2.1. Su deposu seçimi

Su deposu olarak 120 lt lik bir fıçı seçildi.

Ürün özellikleri;

1. Zayıf noktası olmadan emniyet
2. Mukavemet, sızdırmazlık
3. Kolay temizleme imkânı
4. Uzun hizmet ömrü
5. Devamlı ve yüksek kalite standardı
6. Konulan mamulün orijinalliğini koruyan mühür kapak

Yüksek yoğunluklu polietilenden, tek işlemden, tek parçalı olarak şişirme teknolojisiyle imal edilmiştir.



Şekil 5.1. Deponun teknik resmi

Fıçının üst kapağı da kelepçelidir. Bu sayede kapak kısmından da ısı transferi minimum indirilmiştir.

Tablo 5.1. Deponun özellikleri

Hacmi		Gövde	Yüksellik	Ağız Çapı
Nominal	Efektif	Taban Çapı	795 ± 5 mm	401 ± 5 mm
125 L	131 L	355 ± 5 mm		



Şekil 5.2. Fıçımın görünümü

5.2.2. Dolgu maddesi seçimi

Dolgu maddesi seçimi maksimum ısıyı depolayabilmek için oldukça önemlidir ve malzemelerin ısı depolama kabiliyetinin ölçüsü de c_p (kJ/kg) özgül ısıdır.

Tablo 5.2. Bazı maddelerin özgül ısıları

Madde	C_p (özgül ısı) kJ/kg K
Su	4,18
Demir	0,45
Hava	1,005
Azot	1,040

Tablo 5.2'de de görüldüğü gibi özgül ısı en yüksek maddelerden biri sudur. Bu yüzden dolgu maddesi olarak su seçilmiştir.

5.2.3. Spiral borunun seçimi ve yapımı

Spiral boru deponun boyutlarına göre tasarlandı ve bakırdan üretildi. Üretilen spiral boru depoya sabitlendi.

Tablo 5.3. Bazı maddelerin k değerleri

Madde	k (W/mK)
Bakır	401
Demir	80,2
Hava	0,026
Su	0,607

k değeri ısı iletkenliğinin bir göstergesidir ve tabloda görüldüğü gibi bakır k değeri en yüksek malzemelerden biridir. Bu sebeple deney düzeneğinde bakır kullanıldı.

Bakırın malzeme özellikleri;

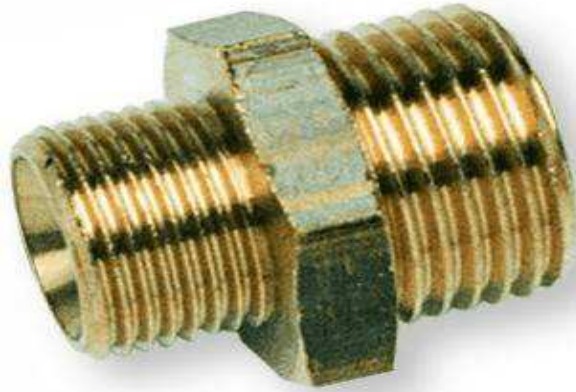
1. Özgül ağırlık: 8,92 g/cm-3
2. Ergime sıcaklığı:1083 °C
3. Isıl iletkenlik:0,91 cal/cm.s.grd
4. Elek. İletkenliği:40-59 m/Ωmm²
5. Elastik modülü:125000-128500 N/mm



Şekil 5.3. Spiral boru

Şekil 5.3'de görüldüğü gibi ısı değiştirici 7 spiralden oluşan bir boru ile oluşturuldu. Su giriş ve çıkışı deponun üst kısmına gelecek şekilde sabitlendi.

Bu spiral borunun depoya sabitlenmesi iki adet çift taraflı nipel yardımıyla yapıldı. Sızdırmazlık için contalar kullanıldı.



Şekil 5.4. Çift taraflı nipel



Şekil 5.5. Spiral borunun depoya sabitlenmiş hali

5.2.4. Sıcaklık Ölçüm Mekanizmasının Oluşturulması

Isı ölçümü için kullanılan malzemeler;

1. 1 Adet T802 Termometre
2. 6 Adet Isı Sensörü (NTC5K)
3. 1 Adet 12 konumlu komitatör
4. 1 Adet plastik muhafaza

5.2.4.1. Sıcaklık sensörü seçimi

Bu sensörler sıcaklık ile direnci değişen maddelerden (nikel, bakır veya kobaltın karışımı) imal edilmektedir. Bu maddelere ise termistör denmektedir.

Termistörler ikiye ayrılmaktadır. Sıcaklıkla direnci artan termistörlere PTC, sıcaklıkla direnci azalan elemana ise NTC denmektedir. Termistörlerin yanı sıra sıcaklık sensörü olarak termostat ve termokupl da kullanılmaktadır. Bu sıcaklık sensörlerinin aralarında çeşitli farklar vardır. Bu farklardan dolayı seçeceğimiz ısı sensörünü ne amaçla kullanacağımızı iyi bilmemiz gerekir.

Deneyler sırasında bir NTC sensör kullanıldı. Kullanılan sensör NTC5K olarak seçildi.

5.2.4.2. T802 Termometre özellikleri

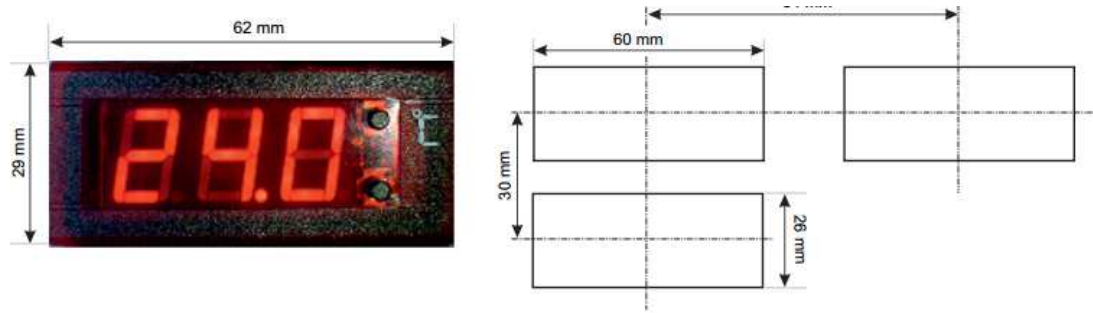
Termometrenin başlıca özellikleri;

Tablo 5.4. Kullanılan termometre özellikleri

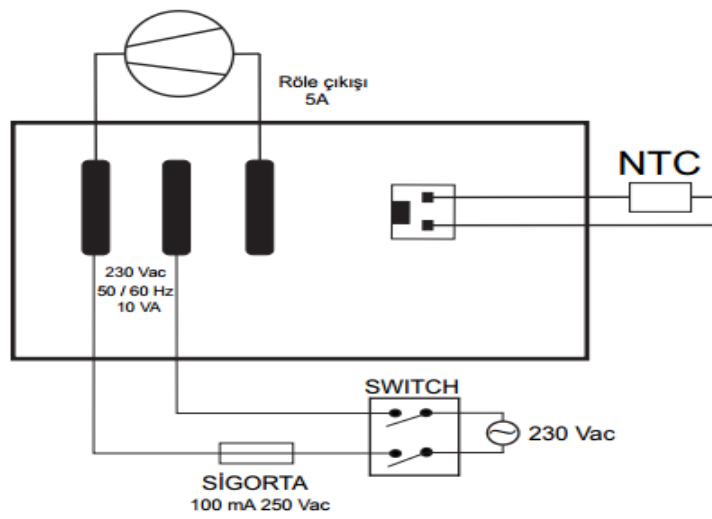
Teknik Özellikler		
Sensör Tipi	Sıcaklık Aralığı	Doğruluk
NTC	-9...120 ⁰ C	±%1(Tam skala) ± dijit
Çevre Koşulları		
Çalışma/Saklama Sıcaklığı	0...50 ⁰ C/-25.... +70 ⁰ C	
Maksimum Bağıl Nem	30 ⁰ C %80 iken 50 ⁰ C ye doğru lineer olarak %50 ye düşer	
Elektiriksel Özellikler		
Besleme Gerilimi	230 Vac %10 50/60 Hz	
Güç Tüketimi	Max 7VA	
Bağlantı	Klemens veya Faston Konnektörlerle	

Tablo 5.5. Kullanılan termometre özellikleri

Çıkışlar	
Isıtma/Soğutma	1: 5A
Röle Ömrü	Mekanik 10.000.000 açma kapama, yük altında 100.000 açma kapama
Kutu	
Kutu Şekli	Panoya Gergi Kolu İle Yerleştirilir
Ağırlık	80 gr
Kutu Malzemesi	Kendi Kendine Sönen Plastik Kullanılmıştır



Şekil 5.6. Termometre Görünümü ve Ebatları

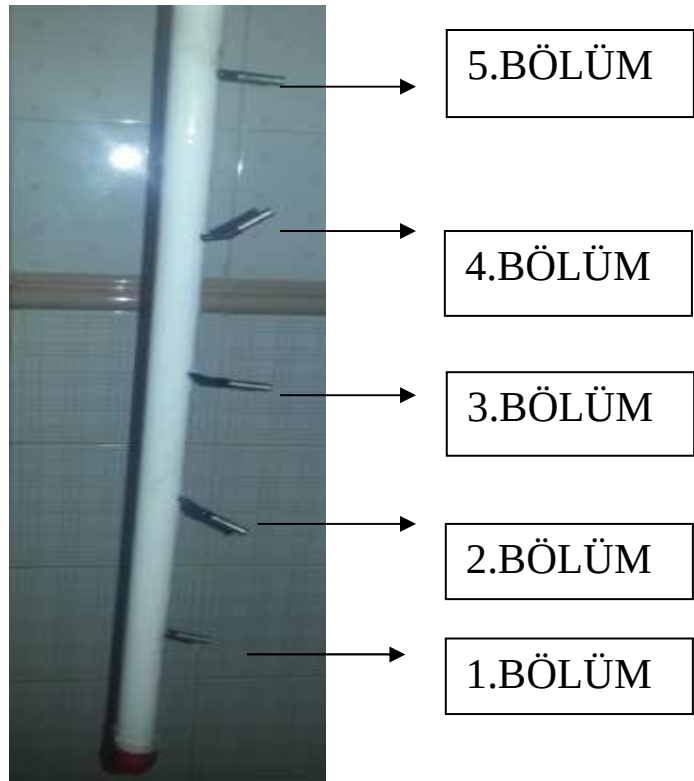


Şekil 5.7. Termometre Devresinin Görünümü

Bu termometreye ek olarak, 1 Adet 6 konumlu komitatör ve 1 Adet plastik muhafaza ile ısı ölçüm mekanizması oluşturulmuştur.



Şekil 5.8. Isı Ölçüm Mekanizmasının Üstten Görünüşü



Şekil 5.9. Isı Ölçüm Mekanizmasının yandan Görünüşü

Şekil 5.8 ve 5.9'da görüldüğü gibi kapaktan depo tabanına kadar uzatılan plastik borunun içerisinde sensör kabloları geçmekte ve depo iç hacmini eşit aralıklarla bölecek şekilde sensörün uçları konumlanmaktadır. Şekil 5.8'de ise plastik boru deponun kapağına sabitlendi ve sensör uçları ve termometre muhafaza içerisinde birleştirildi.

Bununla birlikte Şekil 5.9 plastik borunun alt kısmından başlayarak yukarı doğru 5 noktada numaralandırılmış sensörler gösterildi.

Burada belirtilmesi gereken önemli bir nokta 120 lt lik deponun 100 litrelik kısmı kullanıldı ve görülen 5 sensörün her biri 20 lt lik kısmın sıcaklığını ölçmek üzere yerleştirildi. 6. sensör ise hem ortam sıcaklığını hem su giriş çıkış sıcaklığını belirlemek için ayrıldı.

Hesaplamalar sırasında ölçülen sıcaklıklar aşağıda verildiği gibi numaralandırıldı;

T_0 = Başlangıç Sıcaklığı

T_1 = 1. Sensörden Ölçülen Değer

T_2 = 2. Sensörden Ölçülen Değer

T_3 = 3. Sensörden Ölçülen Değer

T_4 = 4. Sensörden Ölçülen Değer

T_5 = 5. Sensörden Ölçülen Değer

T_6 = Çıkış Sıcaklığı

5.2.5. Su Deposunun Yalıtılması

Su deposunun yalıtılmasında malzeme olarak cam yünü seçildi.

Tablo 5.6. Cam yünü özellikleri

KALINLIK	ISIL İLETKENLİK KATSAYISI	ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİ	YANGINA TEPKİ SINIFI	EBAT
100mm	0,044 W/mK	2,27 m ² K/W	A1	8000X1200mm



Şekil 5.10. Su deposunun yalıtılmış hali

Şekil 5.10'da özellikleri verilen cam yünü 7 cm kalınlığında ayarlanarak depo yalıtıldı.



Şekil 5.11. Deney düzeneğinin son hali

Şekil 5.11'de ise dış yüzeyi folyo kaplı cam yünü tabakası üzerine bir muhafaza daha konuldu ve dış ortamdan etkilenmemesi sağlandı.

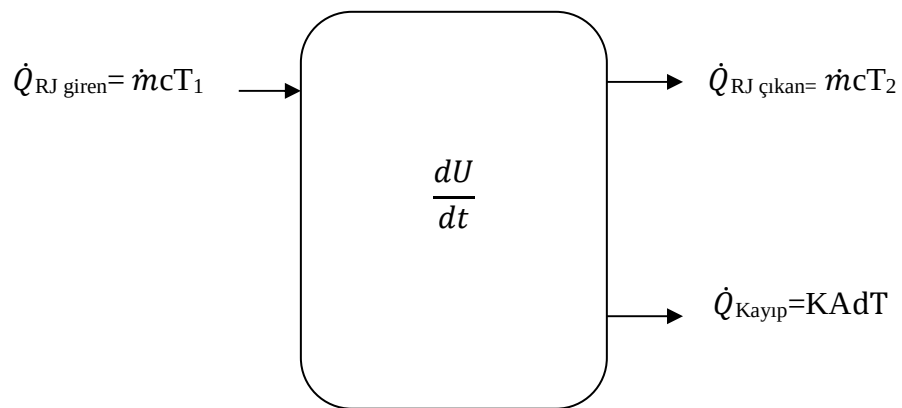
Cam yünlü deneyler için cam yünleri depoya dolduruldu ve Şekil 5.12'de görülen depoda ölçümler yapıldı.



Şekil 5.12. Deponun cam yünü doldurulmuş hali

5.3. Deneyin Yapılması

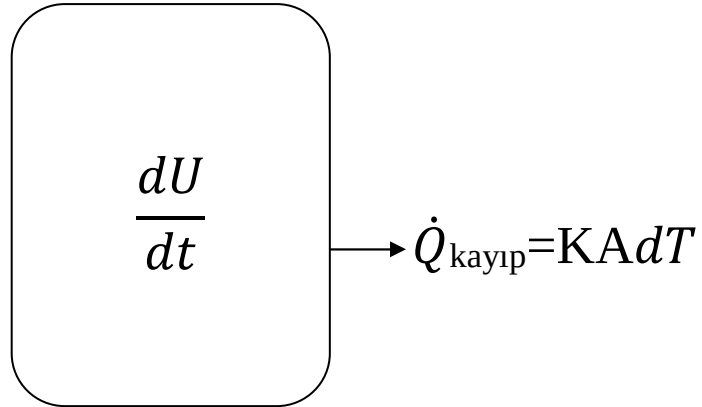
Deneylerin yapılışı ve hesaplamalar öncesinde oluşturduğumuz deney düzeneğinin ısı transfer mekanizması genel hatlarıyla incelendi.



Şekilde görülen ısı transferi mekanizması doğrultusunda gerekli hesaplamalar yapıldı.

5.3.1.K Değerinin Hesaplanması

Öncelikli olarak ana sistemde birim zamanda olan enerji mekanizması incelendi ve toplam ısı transfer katsayısı (K) hesaplandı. Bu K değeri daha sonra yapacağımız deneylerde kullanıldı.



Burada U iç enerji, K birleşik ısı transfer katsayısı, A alan ve T sıcaklıktır.

Sistemimiz kapalı bir sistemdir ve birim zamandaki iç enerji değişimi birim zamanda kaybolan enerjiye eşit olacaktır.

$$M \frac{du}{dt} = KA(T - T_{\varphi}) \quad (5.1)$$

Burada $M \frac{du}{dt}$ değeri küçük sıcaklık aralığında $M C_v \frac{dT}{dt}$ olarak ifade edilebilir ve denklem 5.2 elde edilir.

$$KA(T - T_{\varphi}) = M C_v \frac{dT}{dt} \quad (5.2)$$

Her iki tarafın integrali alınıp K değeri çekildi.

$$\int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{T-T_c} = \int_{t_0}^{t_1} \frac{KA}{MC_v} dt \quad (5.3)$$

$$[\ln(T_1 - T_2) - \ln(T_2 - T_c)] = \frac{KA}{MC_v} \Delta t \quad (5.4)$$

$$K = \frac{[\ln(T_1 - T_c) - \ln(T_2 - T_c)] MC_v}{A \Delta t} \quad (5.5)$$

Son olarak Denklem 5.5 elde edildi.

Bu hesaplamanın yapılabilmesi için m ve A değerleri hesaplanmalıdır.

$$A = 2\pi r l + 2\pi r^2 \quad (5.6)$$

Burada r yarıçap, l uzunluktur. r = 0,245mm, l=0,64m değerleri yerine konulduğunda;

$$2\pi(0,245)0,64 + \pi(0,245)^2 = 1.173 \text{ m}^2 \text{ değeri bulunur.}$$

$$m = V \times \rho \quad (5.7)$$

V hacim, ρ yoğunluktur. V=0,1 m³, ρ =988 kg/ m³ değerleri yerine konulduğunda, kütle değeri

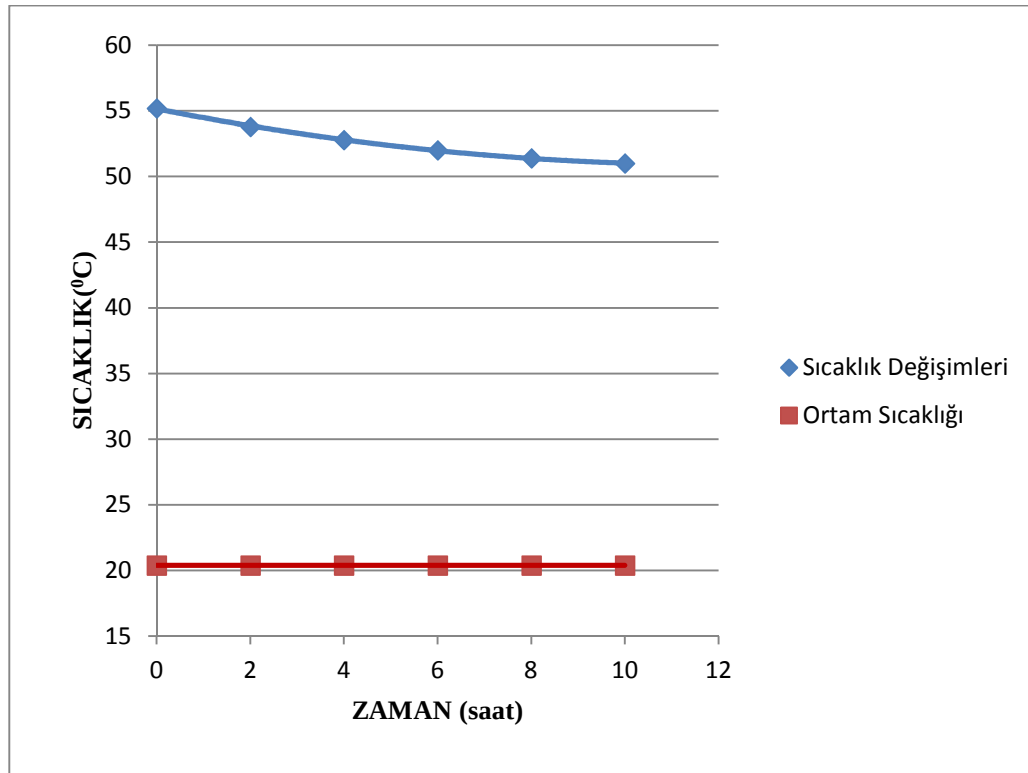
$$m = 0,1 \times 988 = 98,8 \text{ kg değeri bulundu.}$$

Sıcaklık değerleri bulmak için depodan 2 saat aralıklarla ölçümler yapıldı.

Tablo 5.7. Ölçülen sıcaklık değerleri

	1.Ölç.	2.Ölç.	3.Ölç.	4.Ölç.	5.Ölç.	6.Ölç.
SICAKLIK($^{\circ}$ C)	55,2	53,8	52,8	52	51,4	51
SÜRE(saatt)	0	2	4	6	8	10

Yapılan bu ölçümler sonucu elde edilen değerler grafik üzerinde incelendi.



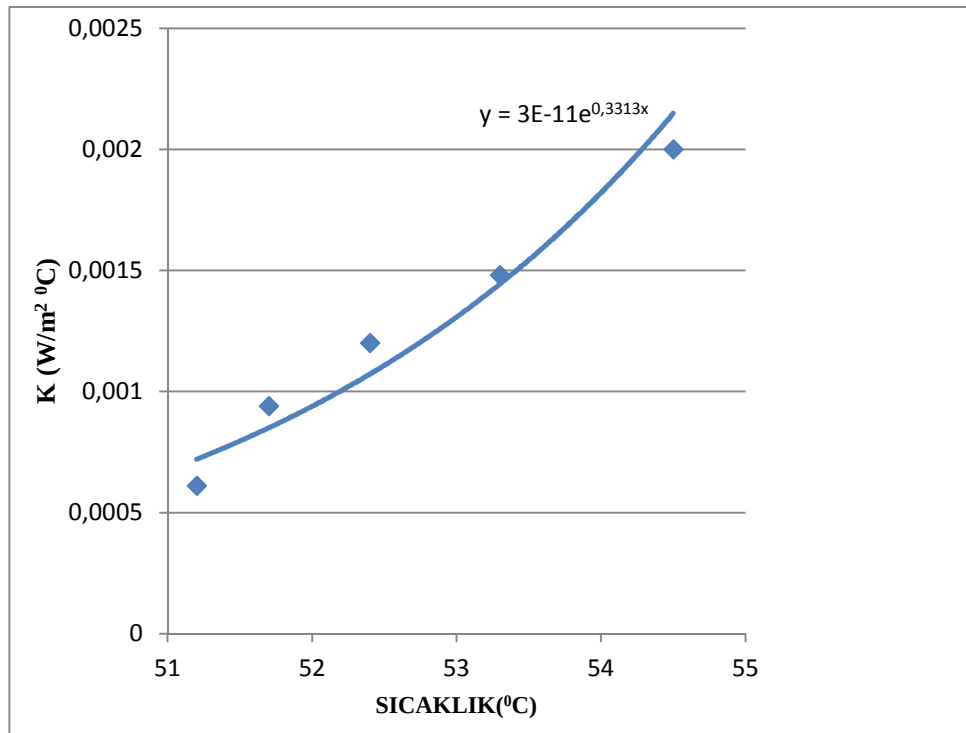
Şekil 5.13. Isıl depo soğuma grafiği

Yukarıda verilen sıcaklık değerleri denklem 5.5'e uygulandı ve K değerleri hesaplandı.

Tablo 5.8. Hesaplanan K değerleri

	1.SONUÇ	2.SONUÇ	3.SONUÇ	4.SONUÇ	5.SONUÇ
K(W/m ² °C)	0,002	0,00148	0,0012	0,00094	0,00061
t (saat)	2	4	6	8	10

Tablo 5.7'de hesaplanan K değerlerinin değişimi Şekil 5.14'de grafik haline getirildi.



Şekil 5.14. K değeri değişim grafiği

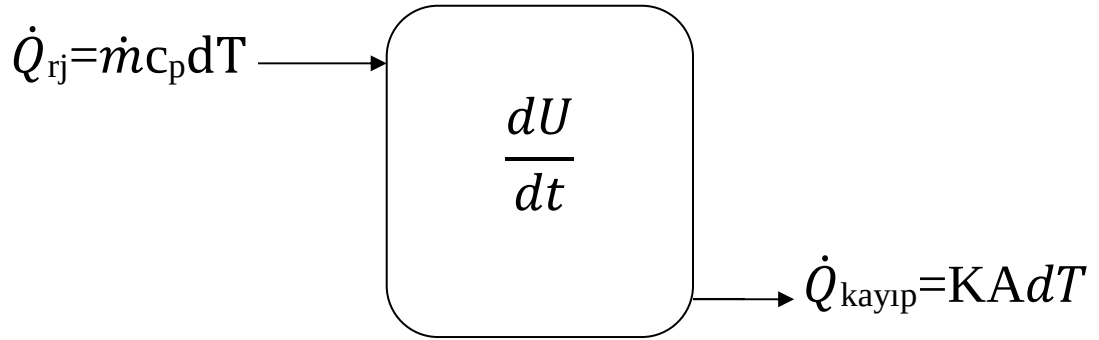
Şekilde de görüldüğü gibi K değerleri sıcaklıkla paralel olarak artmıştır. Bununla birlikte depodan dışarı olan ısı transfer hızının oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Bu grafikler sonucu ortalama bir K değeri hesaplandı ve bu değer $1,207 \cdot 10^{-3} \text{ kw/m}^2$ $^{\circ}\text{C}$ olarak bulundu.

5.3.2.Sıcak su dolu depo ve içinden soğuk su geçen spiral borulu rejeneratif eşanjör sistemi

İçerisinde sıcak su bulunan deponun spiral borudan geçen soğuk suyu iki farklı debide ısıtması cam yünlü ve cam yünsüz donatılarla incelendi.

Öncelikli olarak ısı transferi mekanizmasını gösterildi ve formüle ederek incelendi.



Bu ısı transfer mekanizmasını formüle edersek;

$$\dot{Q}_{\text{depolanan}} = \dot{Q}_{\text{kayıp}} + \dot{Q}_{rj} \quad (5.8)$$

Yukarıdaki denklem de $Q_{\text{depolanan}}$, $Q_{\text{kayıp}}$, Q_{rj} ifadelerini açarsak;

$$\dot{Q}_{\text{depolanan}} = M \frac{du}{dt} \quad (5.9)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = K A \Delta T_x \quad (5.10)$$

$$\Delta T_x = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 - \Delta T_2) \quad (5.11)$$

$$\dot{Q}_{rj} = \dot{m} c \Delta T \quad (5.12)$$

Bu ifadeleri yerine yazdığımızda;

$$M \frac{du}{dt} = \dot{m} c \Delta T + K A \Delta T_x \quad (5.13)$$

ifadesi elde edilir.

Denklemden görülen K ısı transfer katsayısı, u iç enerji, m kütle, T sıcaklık, M kütle, c özgül ısıdır.

Hesaplamaların yapılabilmesi için iki farklı debide ve cam yünlü ve cam yünsüz olmak üzere iki farklı ortamda sıcaklık değerleri depoya yerleştirilen sensörler yardımıyla ölçüldü.

Öncelikle debi 1 için soğuma sırasındaki sıcaklık değerlerini incelendi.

$$\dot{m} = 0,0247 \text{ m}^3/\text{s}$$

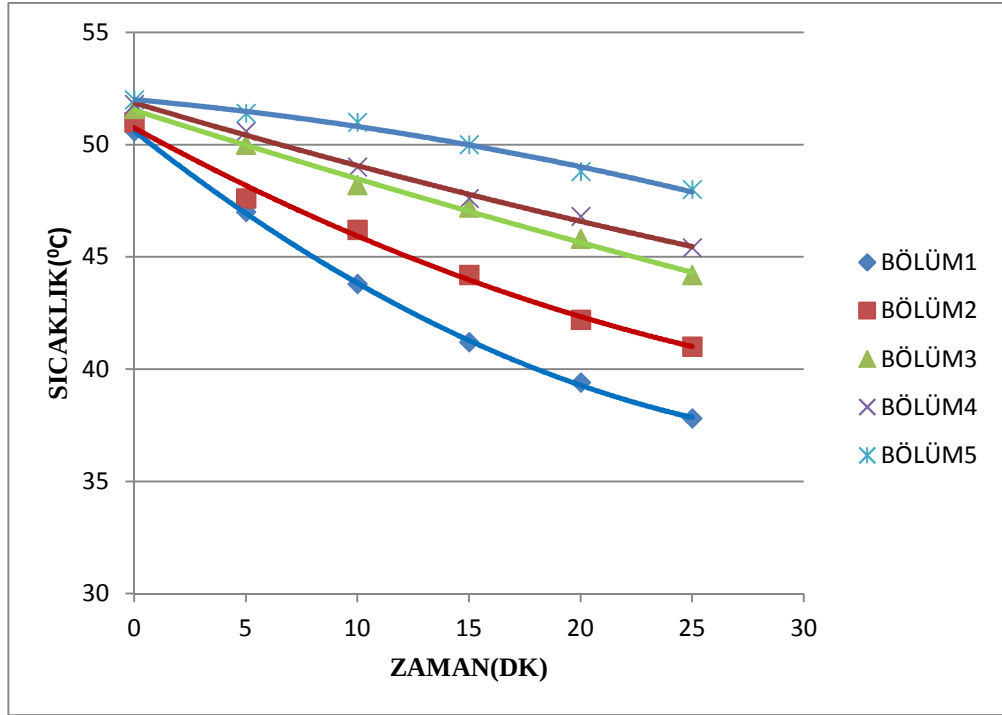
Tablo 5.9. Cam yünsüz deponun soğuma değerleri

	1.ÖLÇÜM (°C)	2.ÖLÇÜM (°C)	3.ÖLÇÜM (°C)	4.ÖLÇÜM (°C)	5.ÖLÇÜM (°C)	6.ÖLÇÜM (°C)
1.KONUM	50,6	47	43,8	41,2	39,4	37,8
2.KONUM	51	47,6	46,2	44,2	42,2	41
3.KONUM	51,6	50	48,2	47,2	45,8	44,2
4.KONUM	51,8	50,6	49	47,6	46,8	45,4
5.KONUM	52	51,4	51	50	48,8	48

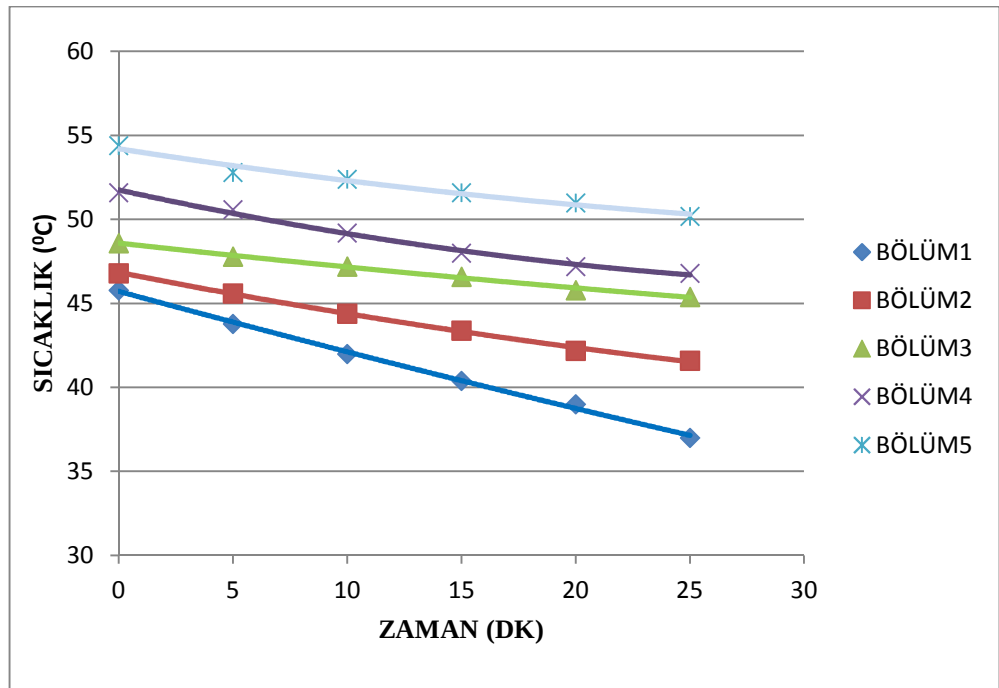
Tablo 5.10. Cam yünlü deponun soğuma değerleri

	1.ÖLÇÜM (°C)	2.ÖLÇÜM (°C)	3.ÖLÇÜM (°C)	4.ÖLÇÜM (°C)	5.ÖLÇÜM (°C)	6.ÖLÇÜM (°C)
1.KONUM	45,8	43,8	42	40,4	39	37
2.KONUM	46,8	45,6	44,4	43,4	42,2	41,6
3.KONUM	48,6	47,8	47,2	46,6	45,8	45,4
4.KONUM	51,6	50,6	49,2	48	47,2	46,8
5.KONUM	54,4	52,8	52,4	51,6	51	50,2

Tabloda verdiğimiz sıcaklık değerleri birde grafik üzerinde gösterildi ve sıcaklık değişimlerini incelendi.



Şekil 5.15. Cam yünsüz sıcaklık değerleri



Şekil 5.16. Cam yüklü sıcaklık değerleri

İki grafik arasındaki farkları daha net görebilmemiz için cam yünlü ve cam yünsüz donatılı rejeneratörler arasındaki sıcaklık farklarını tabloda incelendi.

Tablo 5.11. Sıcaklık farkı kıyaslaması

	CAM YÜNLÜ	CAM YÜNSÜZ
$\Delta T (^{\circ}C)$	8,8	12,8
$\Delta T (^{\circ}C)$	5,2	10
$\Delta T (^{\circ}C)$	3,2	7,4
$\Delta T (^{\circ}C)$	4,8	6,4
$\Delta T (^{\circ}C)$	4,2	4

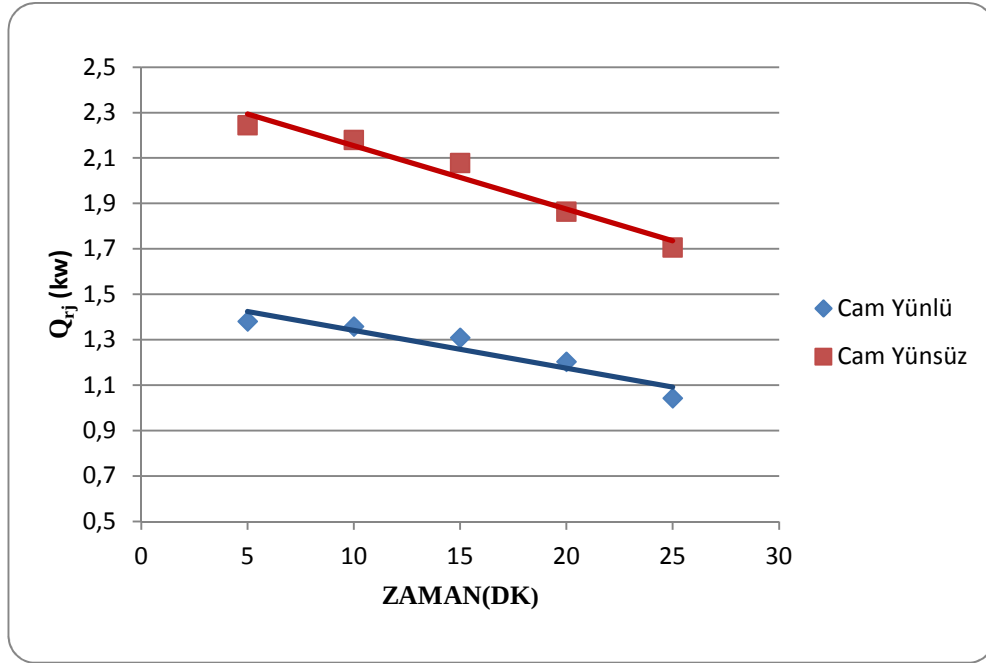
Deneyler sonucu elde edilen sıcaklık değerleri vasıtasıyla 5 konumda spiral boruya geçen enerji miktarları denklem 5.13 vasıtasıyla hesaplandı.

Tablo 5.12. Spiral boruya aktarılan ısı güçleri

	CAM YÜNLÜ	CAM YÜNSÜZ
$Q_{rj}(kw)$	1,380	2,245
$Q_{rj}(kw)$	1,358	2,180
$Q_{rj}(kw)$	1,308	2,078
$Q_{rj}(kw)$	1,203	1,864
$Q_{rj}(kw)$	1,042	1,706

Tablo 5.11'de ki değerler elde edilir.

Tablo 5.11'de elde edilen Q_{rj} değerleri Şekil 5.17'de grafik olarak incelendi.



Şekil 5.17. Spiral boruya aktarılan ısı güçler

Şekil 5.17 incelendiğinde cam yünsüz ısı transfer hızı cam yünlü ısı transfer hızından yüksek olduğu görüldü.

Bu saptamalarla beraber depodan 5 ayrı konumda ölçülen sıcaklık değerleri kullanılarak spiral borunun içinden geçen suyun 5 ayrı konumda sıcaklık değerleri denklem 5.13 yardımı ile hesaplandı. Böylece spiral boru içerisindeki sıcaklık davranışlarının gözlemlenmesi sağlandı.

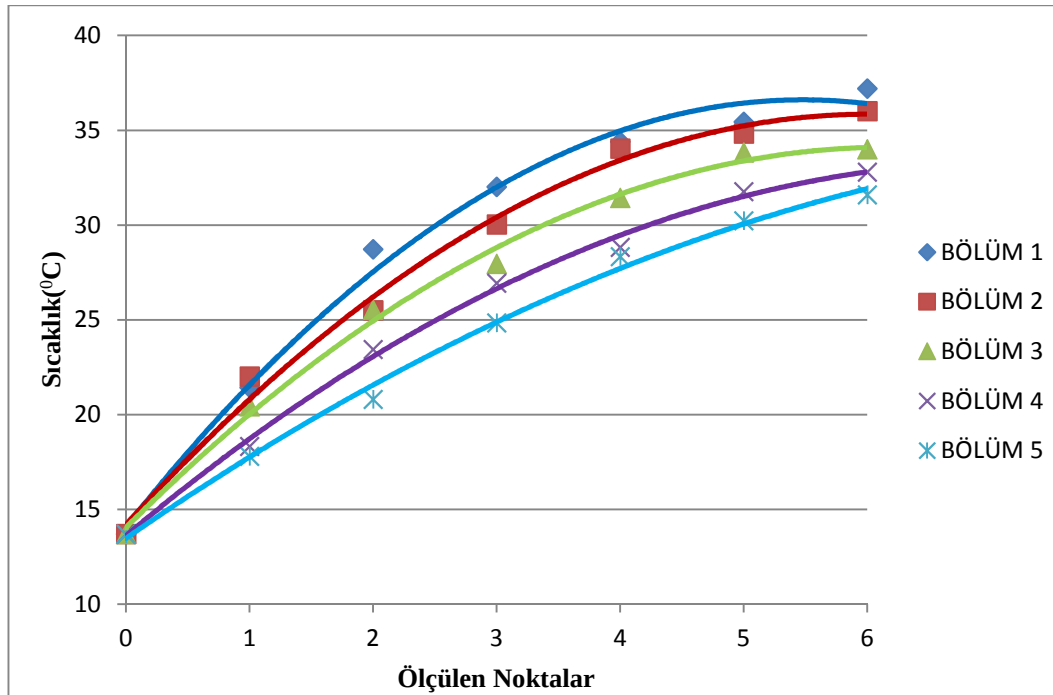
T_1 ilk önce giriş sıcaklığı olup $13,7^{\circ}\text{C}$ ölçülmüş ve T_2 hesaplanmıştır. Bulunan T_2 değeri bir sonraki hesaplamanın T_1 değeri olarak kullanıldı. Böylece 5 konumda sıcaklık değerleri hesaplanmış olur.

Öncelikle cam yünsüz depoda sıcaklık değerleri hesaplandı.

Tablo 5.13. Hesap edilen cam yünsüz sıcaklık değerleri

	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM
$T_{GİRİŞ}(^{\circ}C)$	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
$T_1(^{\circ}C)$	21,4	22,0	20,4	18,3	17,8
$T_2(^{\circ}C)$	28,7	25,4	25,5	23,4	20,8
$T_3(^{\circ}C)$	32,0	30,0	27,9	26,9	24,8
$T_4(^{\circ}C)$	34,3	34,0	31,4	28,8	28,3
$T_5(^{\circ}C)$	35,4	34,8	33,8	31,7	30,2
$T_{ÇIKIŞ}(^{\circ}C)$	37,2	36	34	32,8	31,6

Tablo da verilen sıcaklık dağılımları grafikte gösterildi ve Şekil 5.18'de ki dağılım incelendi.



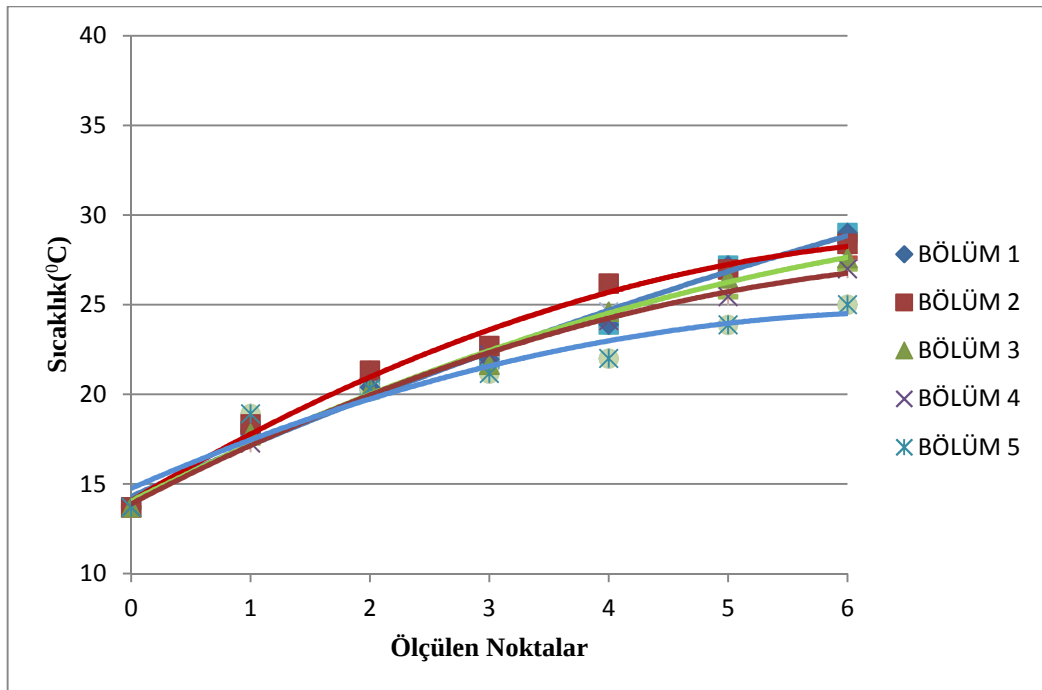
Şekil 5.18. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları

Cam yünlü depoda sıcaklık değerleri hesaplandı.

Tablo 5.14. Hesap edilen cam yünlü sıcaklık değerleri

	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM
$T_{GİRİŞ}(^{\circ}C)$	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
$T_1(^{\circ}C)$	17,95612	18,33214	17,81016	17,28632	18,92
$T_2(^{\circ}C)$	20,40693	21,33173	20,28222	20,30626	20,33
$T_3(^{\circ}C)$	21,94306	22,6951	21,65114	22,21935	21,17
$T_4(^{\circ}C)$	23,90153	26,18784	24,61743	24,1195	22,00
$T_5(^{\circ}C)$	27,18177	26,96686	26,47791	25,4485	23,88
$T_{ÇIKIŞ}(^{\circ}C)$	29	28,40	27,6	27	25,00

Tablo 5.13'de verilen sıcaklık dağılımları grafikte gösterildi ve aşağıdaki sıcaklık dağılımları görüldü.

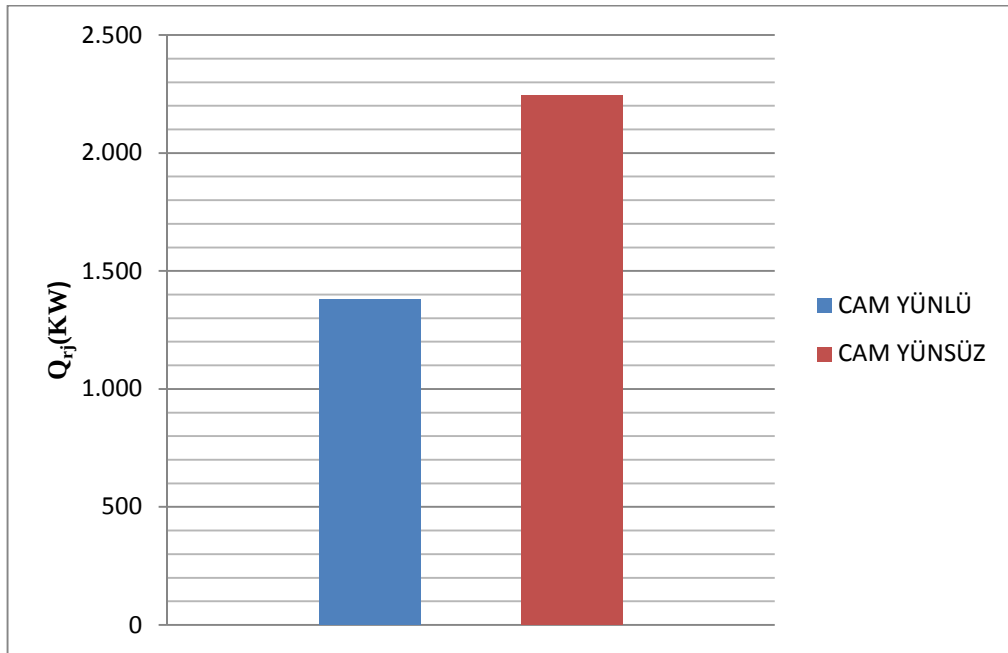


Şekil 5.19. Cam yünlü sıcaklık dağılımları

Görüldüğü gibi şekil 5.18'de cam yünsüz ısı transferi hızı şekil 5.19'da ki ısı transfer hızından fazladır.

Hesaplanan sıcaklık değerleri Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilen grafikler sonucunda yapılan yorumları desteklemekte ve kanıtlamaktadır. Çünkü Şekil 5.15'de görülen hızlı soğuma durumu spiral borunun incelendiği Şekil 5.18'de görülen hızlı ısınmayla paraleldir. Aynı şekilde Şekil 5.16'da ki yavaş soğuma durumu Şekil 5.19'da ki yavaş ısınma durumuyla paraleldir.

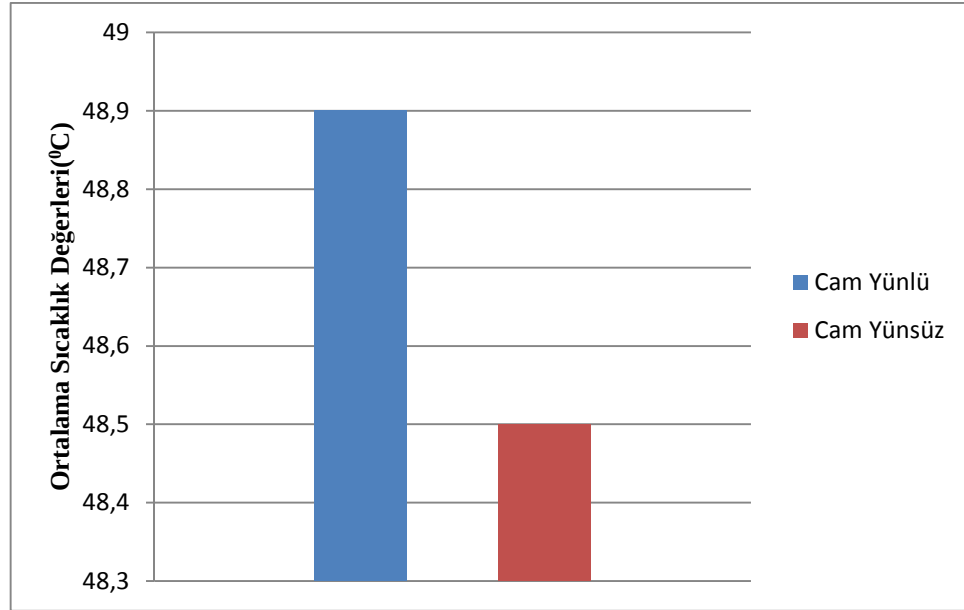
Yukarıda varılan yargıları kesin sonuçlarla desteklemek için öncelikli olarak Şekil 5.20'de Q_{rj} değerleri kıyaslandı.



Şekil 5.20. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depolarda toplam Q_{rj} değerleri

Şekil 5.20'de Cam yünsüz donatılı depoda ısı transfer hızı cam yünlü donatılı ısı transfer hızından fazladır.

Şekil 5.21'de ise depoda bulunan donatının soğuma sırasında ortalama sıcaklık değerleri kıyaslanmıştır.



Şekil 5.21. Cam yönlü ve cam y ns z donatılı depolarda ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 5.21'de g r lm şt r ki ortalama sıcaklık değeri cam y nl  donatıda cam y ns z donatıya göre yüksektir. Bu saptamada cam y nl  donatılı depoda ısıl etkinliğin cam y ns z donatılı depoya göre daha yüksek olduğu yargısına varılır.

Birinci deneyin yapımından hemen sonra debi değiştirilerek ikinci bir değer saptandı ve aynı deneyler tekrarlandı.

 ikinci debi değeri ise $\dot{m}=0,036 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak seçildi. Cam yönlü ve cam y ns z sıcaklık değerleri ölçüldü.

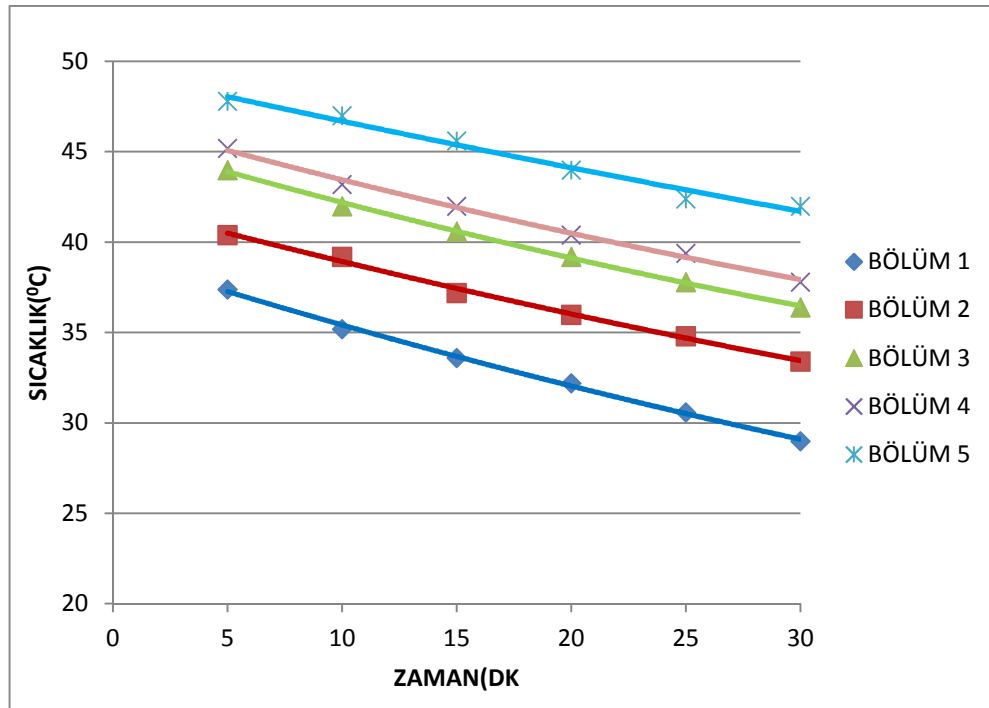
Tablo 5.15. Cam y ns z sıcaklık değerleri

	1.ÖLÇÜM (�C)	2.ÖLÇÜM (�C)	3.ÖLÇÜM (�C)	4.ÖLÇÜM (�C)	5.ÖLÇÜM (�C)	6.ÖLÇÜM (�C)
1.KONUM	37,4	35,2	33,6	32,2	30,6	29
2.KONUM	40,4	39,2	37,2	36	34,8	33,4
3.KONUM	44	42	40,6	39,2	37,8	36,4
4.KONUM	45,2	43,2	42	40,4	39,4	37,8
5.KONUM	47,8	47	45,6	44	42,4	42

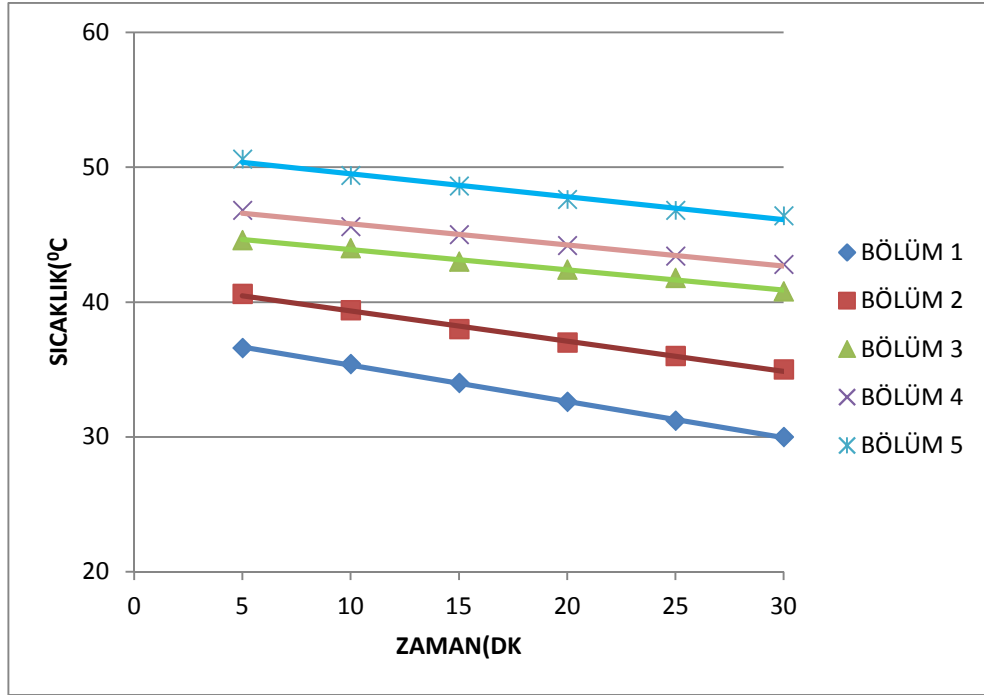
Tablo 5.16. Cam yünlü sıcaklık değerleri

	1.ÖLÇÜM (°C)	2.ÖLÇÜM (°C)	3.ÖLÇÜM (°C)	4.ÖLÇÜM (°C)	5.ÖLÇÜM (°C)	6.ÖLÇÜM (°C)
1.KONUM	36,6	35,4	34	32,6	31,2	30
2.KONUM	40,6	39,4	38	37	36	35
3.KONUM	44,6	44	43	42,4	41,8	40,8
4.KONUM	46,8	45,6	45	44,2	43,4	42,8
5.KONUM	50,6	49,4	48,6	47,6	46,8	46,4

Tabloda verilen değerlerin oluşturduğu sıcaklık davranışlarını incelemek için bu değerleri birde grafik olarak incelendi.



Şekil 5.22. Cam yünsüz sıcaklık değerleri



Şekil 5.23. Cam yünlü sıcaklık değerleri

İki grafik arasındaki farkları daha net görebilmemiz için cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depo arasındaki sıcaklık farklarını tabloda incelendi.

Tablo 5.17. Cam yünlü ve cam yünsüz sıcaklık farkları

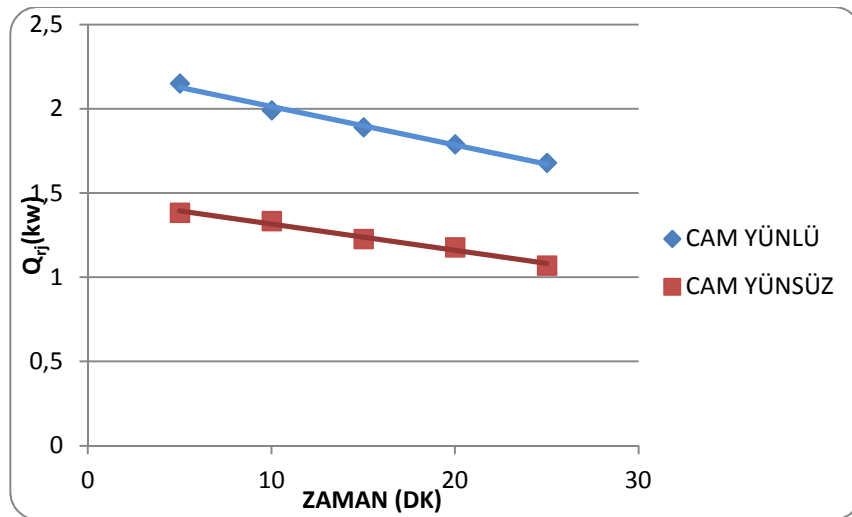
	CAM YÜNLÜ	CAM YÜNSÜZ
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	6,6	8,4
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	5,6	7
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	3,8	7,6
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	4	7,4
$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	4,2	5,8

Deneyler sonucu elde edilen sıcaklık değerleri vasıtasıyla 5 konumda da spiral boruya geçen enerji miktarları denklem 5.13 vasıtasıyla hesaplandı.

Tablo 5.18. Spiral boruya aktarılan ısı güçler

	CAM YÜNLÜ	CAM YÜNSÜZ
$Q_{rij}(kW)$	1,383	2,15
$Q_{rij}(kW)$	1,333	1,19
$Q_{rij}(kW)$	1,227	1,89
$Q_{rij}(kW)$	1,177	1,79
$Q_{rij}(kW)$	1,070	1,68

Tablo 5.17, Şekil 5.24'de grafik olarak gösterildi.



Şekil 5.24. Spiral boruya aktarılan ısı güçler

Şekil 5.24'de cam yünsüz donatılı ısı transferi cam yünlü donatılı ısı transferi hızından fazla olduğu görülür.

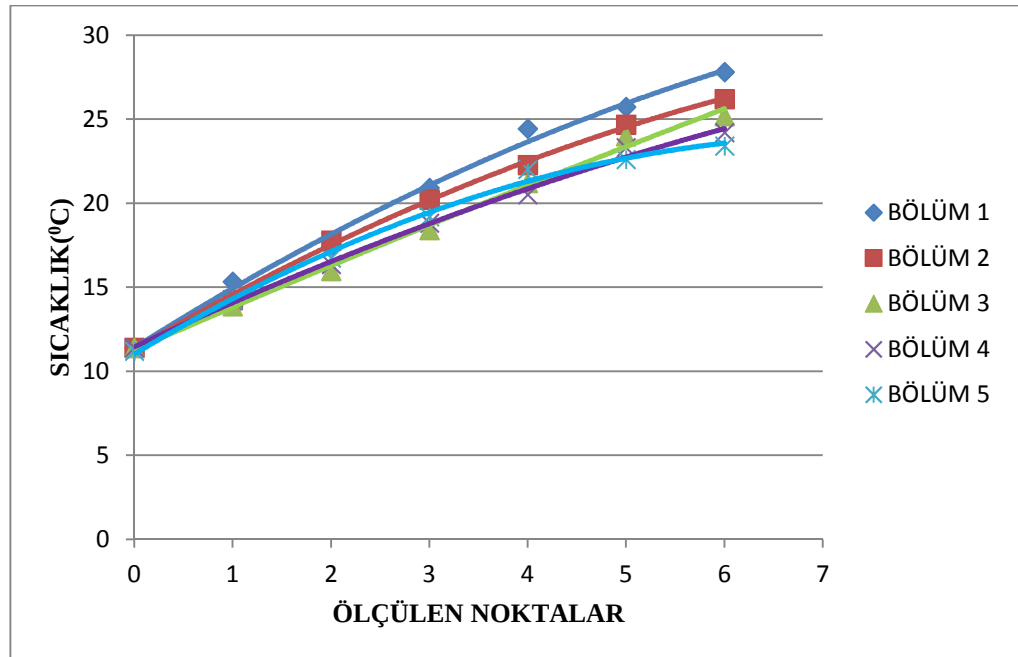
Bu saptamalarla beraber depodan 5 ayrı konumda ölçülen sıcaklık değerleri vasıtasıyla spiral borunun içinden geçen suyun 5 ayrı konumda sıcaklık değerleri hesaplandı. Böylece spiral boru içerisindeki sıcaklık değişimi davranışlarını gözlemlendi.

Bu hesaplamalar Denklem 5.9 yardımıyla yapıldı.

Tablo 5.19. Hesap edilen cam yünsüz sıcaklık değerleri

	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM
$T_{GİRİŞ}(^{\circ}C)$	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
$T_1(^{\circ}C)$	15,3259	14,24002	13,88352	14,25893	14,26902
$T_2(^{\circ}C)$	17,40003	17,788	15,97779	16,36076	16,74498
$T_3(^{\circ}C)$	20,91777	20,21861	18,41723	18,809	19,20205
$T_4(^{\circ}C)$	24,42795	22,27511	21,21441	20,51656	22,01561
$T_5(^{\circ}C)$	25,72236	24,67425	23,98894	23,30116	22,61089
$T_{ÇIKIŞ}(^{\circ}C)$	27,8	26,2	25,2	24,2	23,4

Tablo da verilen cam yünsüz sıcaklık dağılımları grafikte gösterildi.



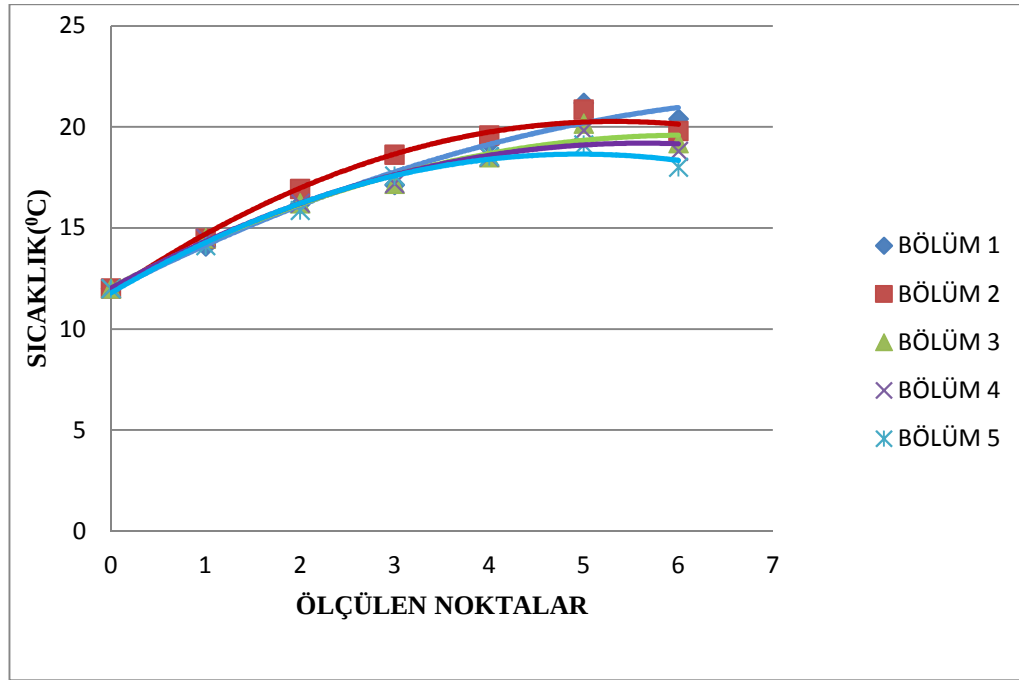
Şekil 5.25. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları

Aynı şekilde cam yünlü sıcaklık değerleri hesaplandığında Tablo 5.19 da elde edildi.

Tablo 5.20. Hesap edilen cam ynl sıcaklık değerleri

	1. L	2. L	3. L	4. L	5. L
$T_{GIRIŞ}(^{\circ}C)$	12	12	12	12	12
$T_1(^{\circ}C)$	14,10261	14,47636	14,48476	14,49317	14,13503
$T_2(^{\circ}C)$	16,18121	16,9287	16,21243	16,22684	15,8747
$T_3(^{\circ}C)$	17,1362	18,62036	17,17702	17,19503	17,57956
$T_4(^{\circ}C)$	19,1776	19,56935	18,49615	18,51896	18,54176
$T_5(^{\circ}C)$	21,19671	20,86208	20,16021	19,82249	19,11702
$T_{ÇIKIŞ}(^{\circ}C)$	20,4	19,8	19,2	18,8	18

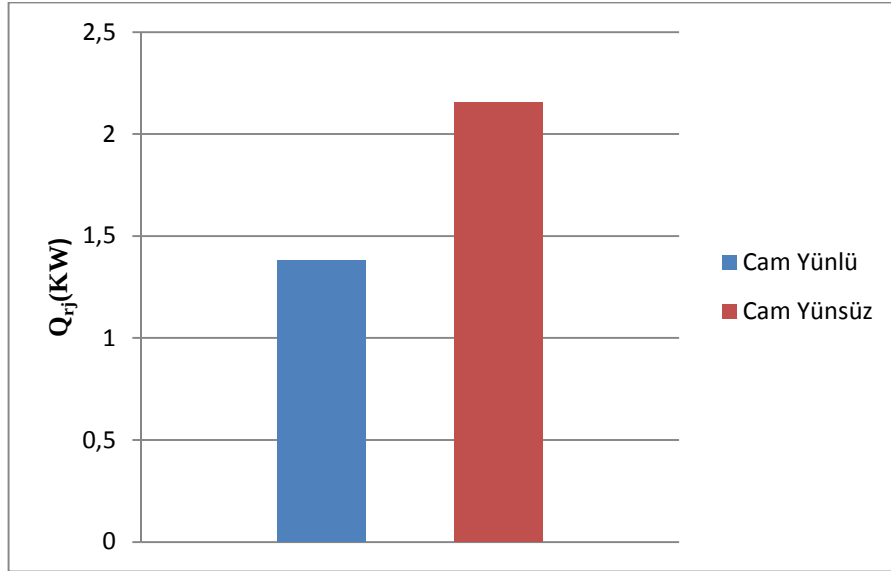
Bu değerleri grafik üzerinde gösterildi.



Şekil 5.26. Cam ynl sıcaklık dağılımları

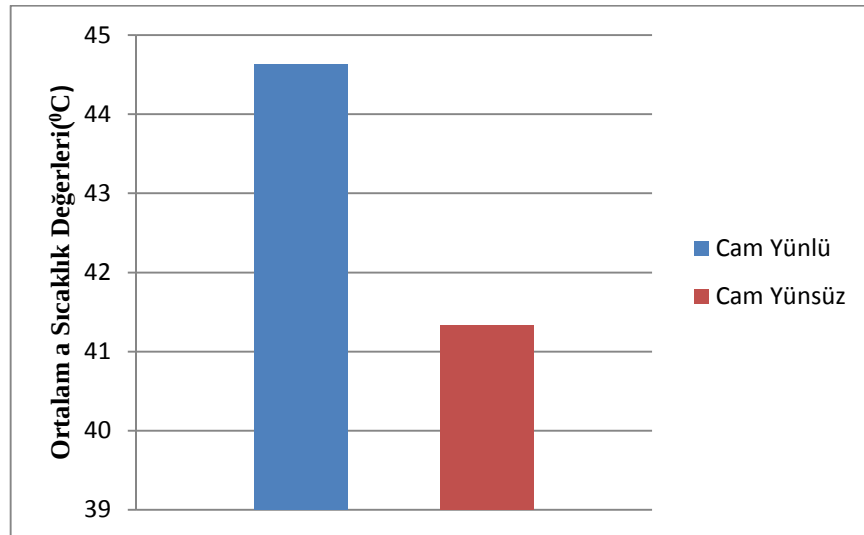
Görüldüğü gibi cam ynsz sıcaklık değişimlerinin cam ynl sıcaklık değişimlerine göre yüksek olduğu belirlendi.

Her iki donatı için bir önceki debide olduğu gibi toplam ısı geçişi miktarı ve ortalama sıcaklık değerleri Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de verildi.



Şekil 5.27. Cam yünlü ve cam yünlüz donatılı depolarda toplam Q_T değerleri

Şekil 5.27'de görüldüğü gibi cam yünlüz donatılı ısı transfer hızı cam yünlü donatılı ısı transfer hızına göre fazladır.



Şekil 5.28. Cam yünlü ve cam yünlüz donatılı depolarda ortalama sıcaklık değerleri

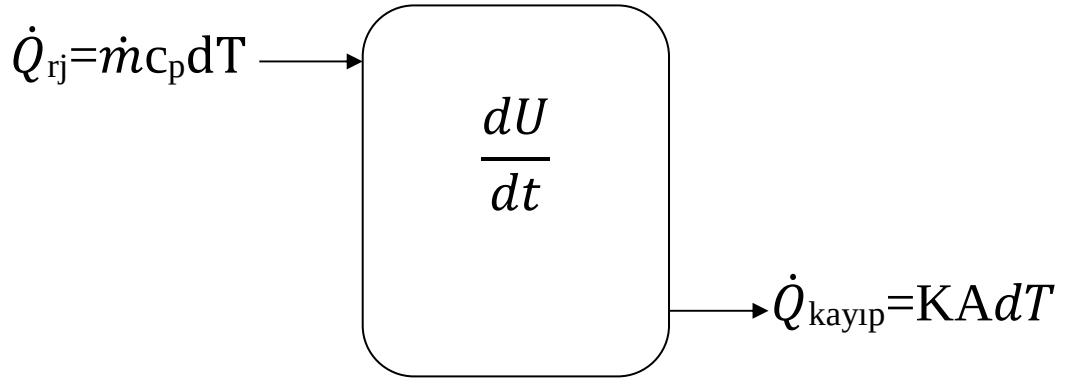
Şekil 5.28'de ise depo da bulunan suyun her iki donatı için soğuma sırasında ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir. Bu grafikten çıkarılacak sonuç ise bir önceki

debide olduğu gibi cam yünlü donatılı ısıl etkinlik değeri cam yünsüz donatıya göre daha fazladır.

5.3.3. Soğuk su dolu depo ve içinden sıcak su geçen spiral borulu rejeneratif eşanjör sistemi

Deney düzeneğinde soğuk su dolu depodan spiral boru yardımıyla iki farklı debide sıcak su geçirildi. Bu debiler cam yünlü ve cam yünsüz ortamlarda deneylerle incelendi.

Öncelikli olarak ısı transferi mekanizması gösterildi ve formüle ederek incelendi.



Bu ısı transfer olayı için zamana göre diferansiyel enerji denkliği yazılırsa;

$$\dot{Q}_{\text{depolanan}} = \dot{Q}_{rj} - \dot{Q}_{\text{kayıp}} \quad (5.13)$$

Yukarıdaki denklem de $\dot{Q}_{\text{depo}}$, $\dot{Q}_{\text{kayıp}}$, $\dot{Q}_{\text{boru}}$ ifadeleri açıldı;

$$\dot{Q}_{\text{depolanan}} = M \frac{du}{dt} \quad (5.14)$$

$$\dot{Q}_{\text{kayıp}} = KA \Delta T_x \quad (5.15)$$

$$\Delta T_x = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1 - \Delta T_2) \quad (5.16)$$

$$\dot{Q}_{rj} = \dot{m} c \Delta T \quad (5.17)$$

Bu ifadeleri yerine yazıldı;

$$M \frac{du}{dt} = \dot{m} c \Delta T - K A \Delta T_x \quad (5.18)$$

$$(T_2 - T_1) = (M \frac{du}{dt} + K A \Delta T_x) / (\dot{m} c) \quad (5.19)$$

ifadesi elde edilir.

Denklemden görülen K toplam ısı transfer katsayısı, u iç enerji, m kütle, T sıcaklık, c özgül ısıdır.

Denklemden görülen parametrelerin bulunabilmesi ve sıcaklık davranışlarının her iki debide ve her iki ortamda davranışlarının görülebilmesi için sıcaklık değerleri incelendi.

Öncelikle debi 1 için ısınma sırasındaki sıcaklık değerleri incelendi.

$$\dot{m} = 0,0527 \text{ m}^3/\text{sn}$$

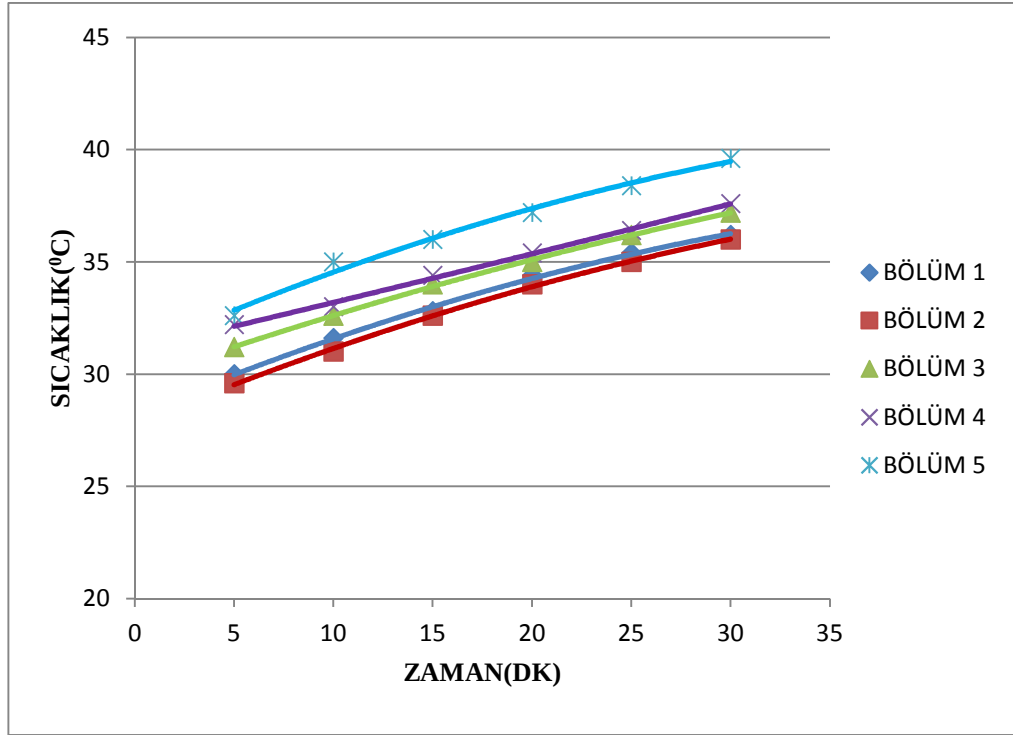
Tablo 5.21. Cam yünsüz deponun ısınma değerleri

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

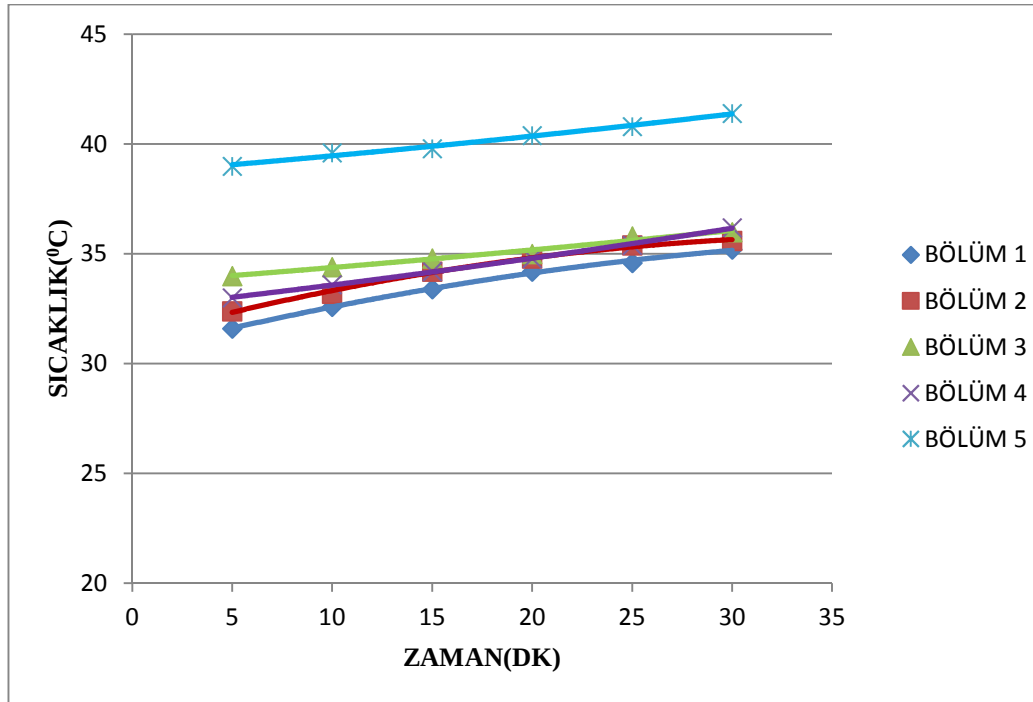
Tablo 5.22. Cam yünlü deponun ısınma değerleri

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

Tablo 5.20 ve Tablo 5.21'de görülen sayısal değerleri sıcaklık değişimlerinin daha net görülebilmesi için grafik olarak incelendi.



Şekil 5.29. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları



Şekil 5.30. Cam yünlü sıcaklık dağılımları

Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da görülen her bir bölüm için sıcaklık farkları Tablo 5.22'de kıyaslamalı olarak gösterildi.

Tablo 5.23. Cam yünlü ve cam yünsüz sıcaklık farkları

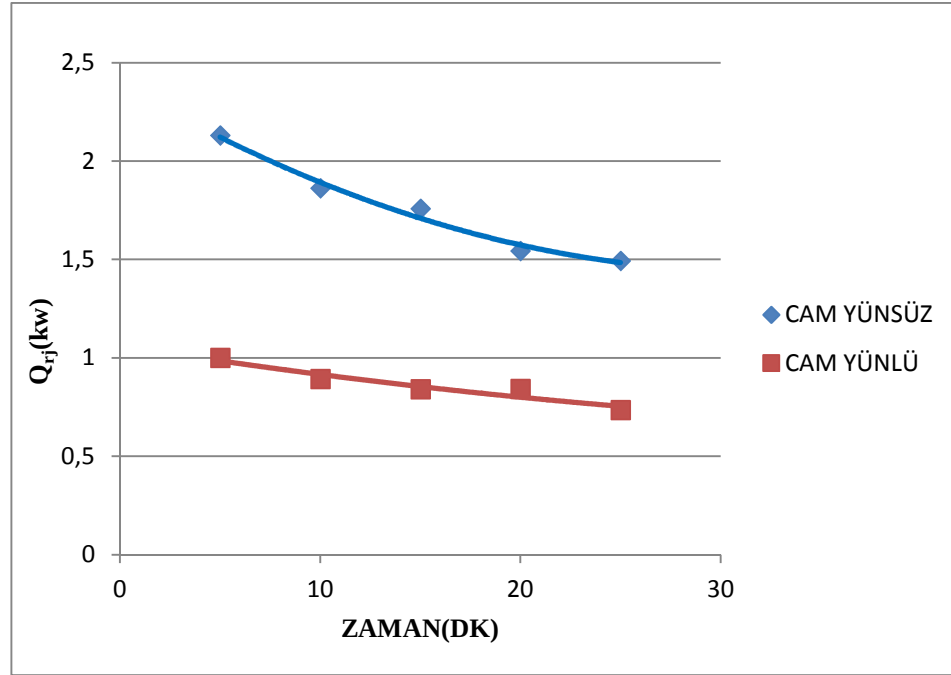
	CAM YÜNLÜ	CAM YÜNSÜZ
$\Delta T (^{\circ}C)$	3,6	6,2
$\Delta T (^{\circ}C)$	3,2	6,4
$\Delta T (^{\circ}C)$	2	6
$\Delta T (^{\circ}C)$	3,2	5,4
$\Delta T (^{\circ}C)$	2,4	7

Bu değerlerle birlikte spiral borudan çıkan birim zamandaki ısı transferi miktarı denklem 5.18 vasıtasıyla hesaplandı.

Tablo 5.24. Spiral boruya aktarılan ısı güçleri

	CAM YÜNLÜ	CAM YÜNSÜZ
$Q_{ij}(kw)$	0,999252	2,129641
$Q_{ij}(kw)$	0,892157	1,86109
$Q_{ij}(kw)$	0,839842	1,757041
$Q_{ij}(kw)$	0,842495	1,542298
$Q_{ij}(kw)$	0,73483	1,492259

Bu değerleri grafik üzerinde gösterildi.



Şekil 5.31. Cam yünlü ve cam yünsüz transfer edilen ısı güçler

Şekil 5.29 ve Şekil 5.30 karşılaştırıldığında cam yünsüz ısı transfer hızı cam yünlü ısı transfer hızına göre iki kattan daha yüksek olduğu görülmektedir.

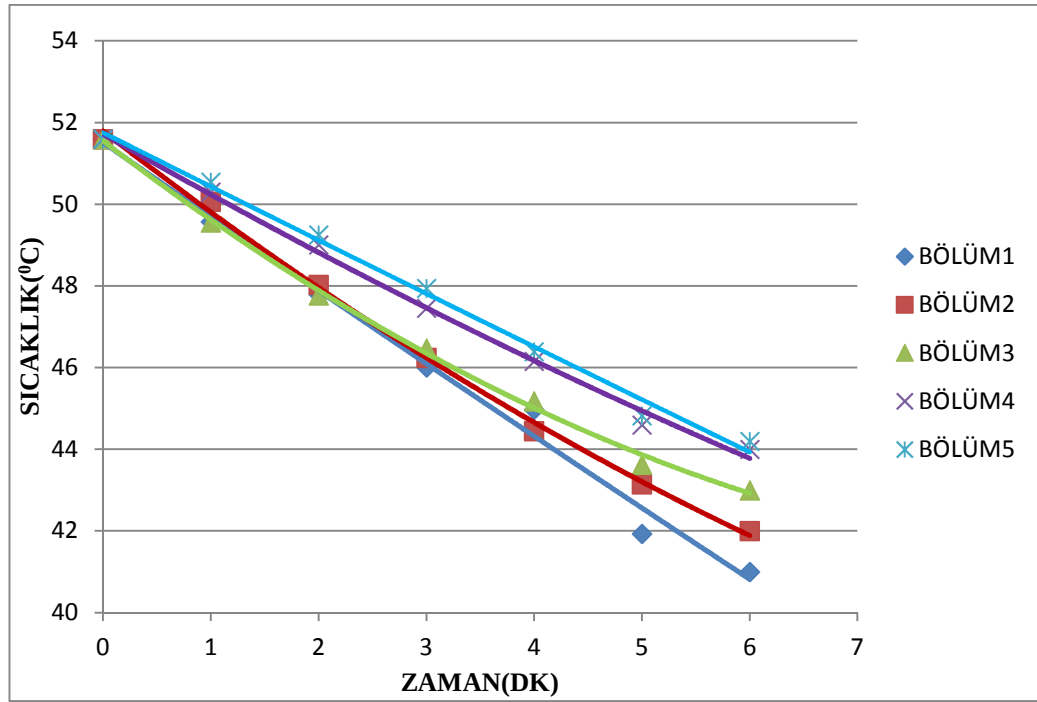
Şekil 5.30'da dikkat çekilmesi gereken bir diğer hususta 5.Bölümdeki sıcaklık değerlerinin diğer bölümlerle olan sıcaklık farkını zaman içinde koruyabilmesidir. Bu durum cam yünlü depoda doğal taşınım minimuma indirildiğinden her bir bölümün diğer bölümlerden mümkün olduğu kadar iyi izole edilebildiğini göstermektedir. Bu sonuç cam yünlü diğer deneylerde de gözlemlenmiş olup birbirinden farklı sıcaklıklardaki sıvıların cam yünlü depo içerisinde düşük hızlarda ısı alışverişi ile depolanabileceğini göstermiştir.

Deponun içindeki sıcaklıklar değerleri ve değişimleri de hesaplandı ve gösterildi. Bununla birlikte 5 ayrı sensörün ölçtüğü bu değerlerin karşılığında spiral borunun içindeki sıcaklık değerleri denklem 5.19 vasıtasıyla hesaplandı.

Tablo 5.25. Hesap edilen cam yünsüz sıcaklık değerleri

	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM
$T_{GİRİŞ}(^{\circ}C)$	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6
$T_1(^{\circ}C)$	49,57115	50,065	49,55907	50,30333	50,54941
$T_2(^{\circ}C)$	47,7944	48,03183	47,76939	49,00838	49,25016
$T_3(^{\circ}C)$	46,01074	46,24215	46,47444	47,45874	47,94574
$T_4(^{\circ}C)$	44,97392	44,45074	45,17776	46,15776	46,39008
$T_5(^{\circ}C)$	41,93238	43,15148	43,62382	44,59866	44,82581
$T_{ÇIKIŞ}(^{\circ}C)$	41	42	43	44	44,2

Bu değerleri grafik üzerinde incelendi.



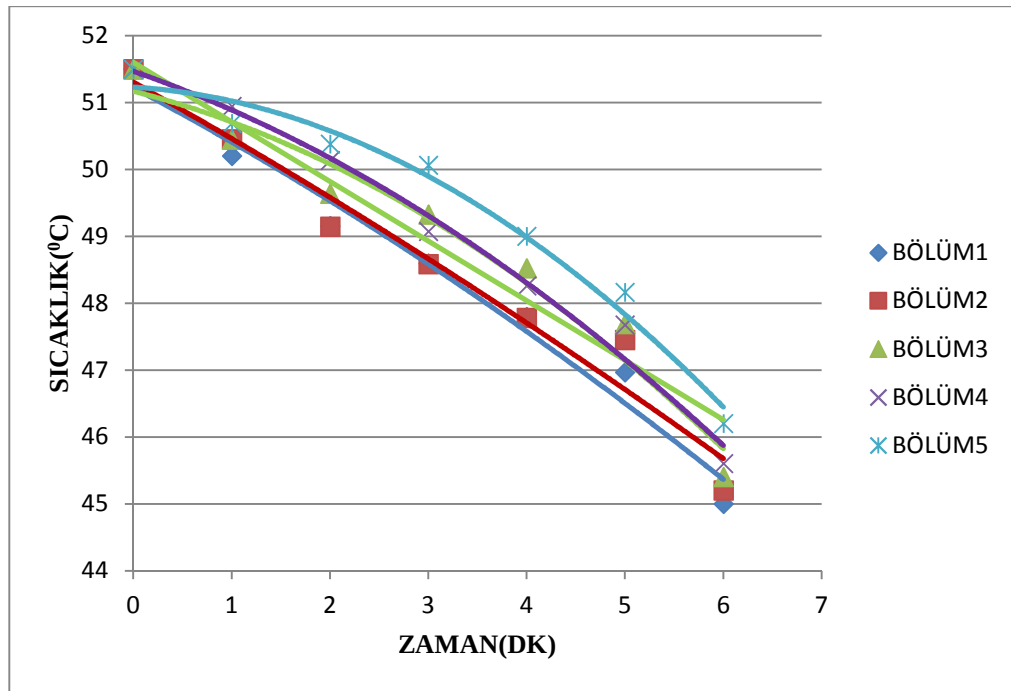
Şekil 5.32. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları

Cam yünlü sıcaklık değerler gösterildi ve sıcaklık dağılımları incelendi.

Tablo 5.26. Hesap edilen cam ynl sıcaklık değerleri

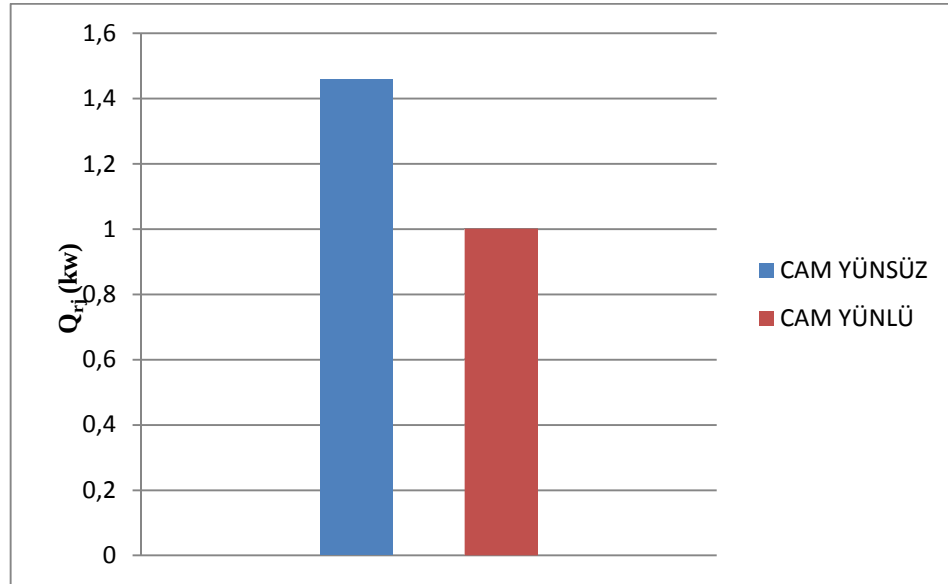
	1. L	2. L	3. L	4. L	5. L
$T_{GİRİŞ}(^{\circ}C)$	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5
$T_1(^{\circ}C)$	50,20247	50,44855	50,44511	50,94246	50,69034
$T_2(^{\circ}C)$	49,15188	49,14414	49,63717	50,13194	50,37803
$T_3(^{\circ}C)$	48,5952	48,58573	49,32745	49,07017	50,064
$T_4(^{\circ}C)$	47,79242	47,78037	48,51951	48,25965	49,00052
$T_5(^{\circ}C)$	46,96384	47,45001	47,68749	47,67545	48,1642
$T_{ÇIKIŞ}(^{\circ}C)$	45	45,2	45,4	45,6	46,2

Bu değerler grafik üzerinde gösterildi. Sıcaklık dağılımları incelendi.



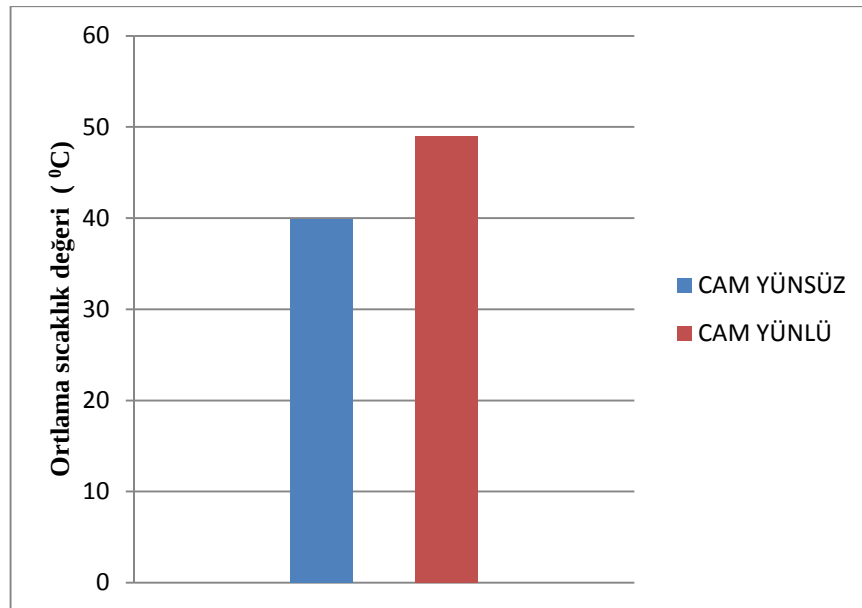
Şekil 5.33. Cam ynl sıcaklık dağılımları

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



Şekil 5.34. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı Q_{ij} değerleri

Şekil 5.34'de görüldüğü gibi birim zamanda donatıya geçen toplam ısı miktarı cam yünsüz donatılı depo da cam yünlü donatılı depoya göre daha yüksektir.



Şekil 5.35. Cam yünlü ve cam yünsüz depoda spiral boru ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 5.35'de ise spiral boru içerisindeki suyun ortalama sıcaklık değerleri 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 ısıl etkinliğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Birinci deneyin yapımından hemen sonra debi değiştirilerek ikinci bir değer saptandı. Aynı deneyler tekrarlanıp sonuçları incelendi.

$\dot{m}=0,069 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak seçildi.

Cam yünlü ve cam yünsüz ısınma sıcaklık değerleri incelendi;

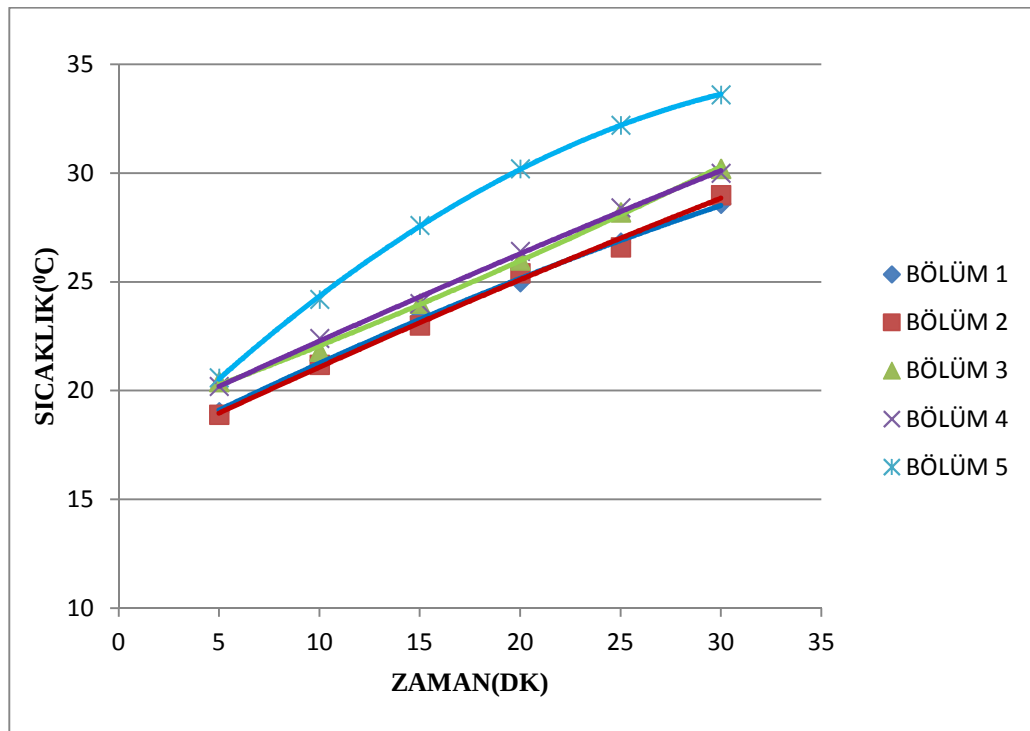
Tablo 5.27. Cam yünsüz deponun ısınma değerleri

	1.ÖLÇÜM (°C)	2.ÖLÇÜM (°C)	3.ÖLÇÜM (°C)	4.ÖLÇÜM (°C)	5.ÖLÇÜM (°C)	6.ÖLÇÜM (°C)
1.KONUM	19	21,4	23,4	25	26,8	28,6
2.KONUM	18,9	21,2	23	25,4	26,6	29
3.KONUM	20,4	21,8	24	26	28,2	30,2
4.KONUM	20,2	22,4	24	26,4	28,4	30
5.KONUM	20,6	24,2	27,6	30,2	32,2	33,6

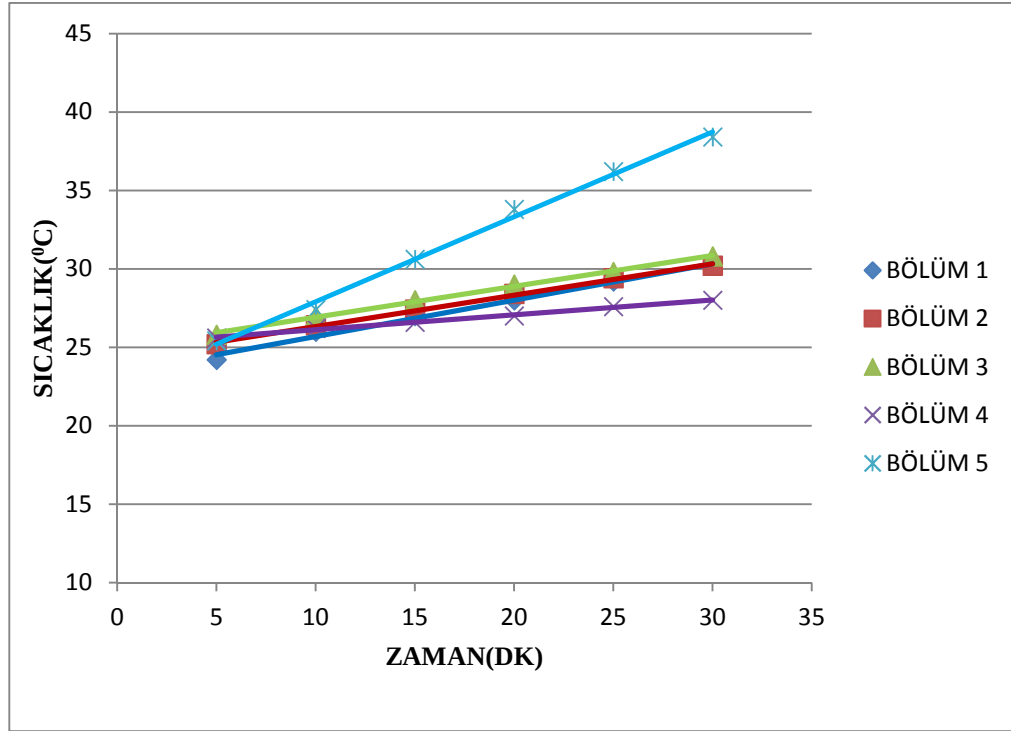
Tablo 5.28. Cam yünlü deponun ısınma değerleri

	1.ÖLÇÜM (°C)	2.ÖLÇÜM (°C)	3.ÖLÇÜM (°C)	4.ÖLÇÜM (°C)	5.ÖLÇÜM (°C)	6.ÖLÇÜM (°C)
1.KONUM	24,2	26	27	28	29,2	30,2
2.KONUM	25,2	26,4	27,4	28,4	29,4	30,2
3.KONUM	25,8	27	28	29	29,8	30,8
4.KONUM	25,6	26,2	26,6	27	27,6	28
5.KONUM	25,4	27,4	30,6	33,8	36,2	38,4

Ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de grafik olarak gösterildi.



Şekil 5.36. Cam yünsüz sıcaklık değerleri



Şekil 5.37. Cam yünlü sıcaklık değerleri

Şekil 5.36 ve 5.37'de görülen grafiklerdeki sıcaklık farkları ve Q_{rj} değerleri Tablo 5.28 ve 5.29'da incelendi.

Tablo 5.29. Cam yünlü ve cam yünsüz sıcaklık farkları

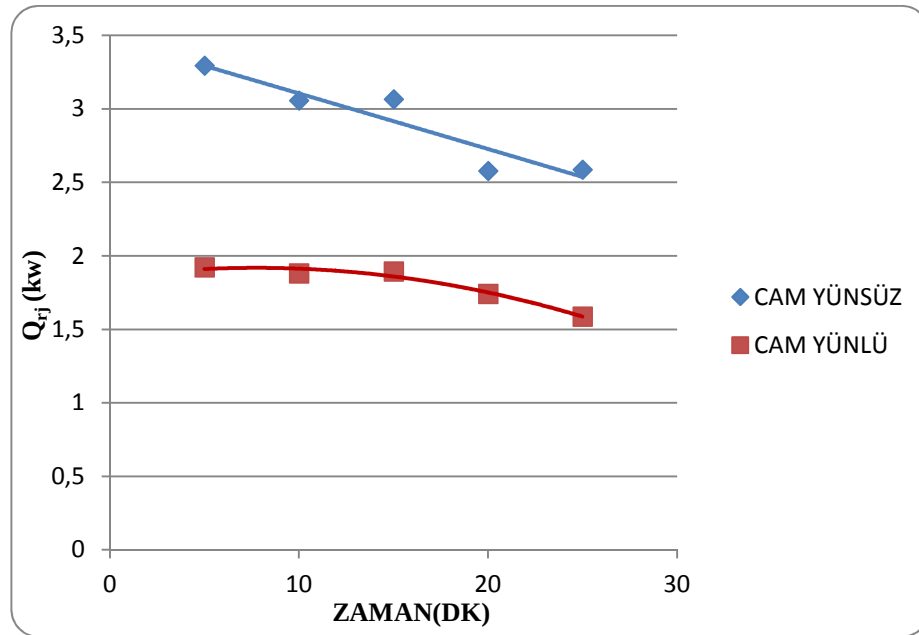
	CAM YÜNLÜ	CAM YÜNSÜZ
$\Delta T(^{\circ}C)$	6	9,6
$\Delta T(^{\circ}C)$	5	10,1
$\Delta T(^{\circ}C)$	5	9,8
$\Delta T(^{\circ}C)$	2,4	9,8
$\Delta T(^{\circ}C)$	13	13

Deneyler sonucu elde edilen sıcaklık değerleri vasıtasıyla 5 konumda spiral boruya geçen enerji miktarları (Q_{rj}) denklem 5.18 vasıtasıyla hesaplandı.

Tablo 5.30. Spiral boruya aktarılan ısı güçler

	CAM YÜNLÜ	CAM YÜNSÜZ
$Q_{rj}(kw)$	1,921328	3,292912
$Q_{rj}(kw)$	1,879577	3,055158
$Q_{rj}(kw)$	1,892885	3,065055
$Q_{rj}(kw)$	1,740409	2,577904
$Q_{rj}(kw)$	1,586684	2,586634

Bu değerleri grafik üzerinde gösterirsek;



Şekil 5.38. Spiral boruya aktarılan ısı güçler

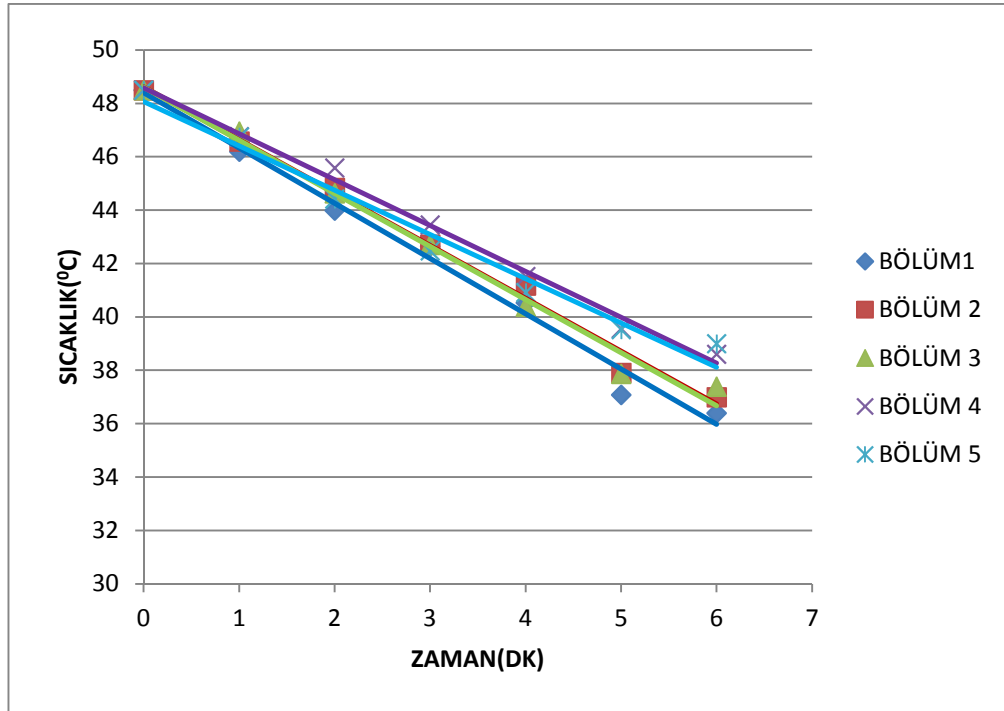
Şekil 5.38'de cam yünsüz donatılı ısı transfer hızının cam yünlü ısı transfer hızına göre daha hızlı olduğu görüldü.

Deponun içindeki sıcaklıklar değerleri ve değişimleri de hesaplandı ve gösterildi. Bununla birlikte 5 ayrı sensörün ölçtüğü bu değerlerin karşılığında spiral borunun içinde ki sıcaklık değerleri denklem 5.19 vasıtasıyla hesaplandı.

Tablo 5.31. Hesap edilen cam yünsüz sıcaklık değerleri

	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	4. ÖLÇÜM	5. ÖLÇÜM
$T_{GİRİŞ}(^{\circ}C)$	48,5	48,5	48,5	48,5	48,5
$T_1(^{\circ}C)$	46,19986	46,57507	46,95117	46,75591	46,74998
$T_2(^{\circ}C)$	43,99559	44,84217	44,6385	45,58418	44,42694
$T_3(^{\circ}C)$	42,64808	42,72455	42,70571	43,45435	42,48109
$T_4(^{\circ}C)$	40,53585	41,17902	40,3905	41,51442	40,91703
$T_5(^{\circ}C)$	37,08293	37,90726	37,87295	39,56198	39,53171
$T_{ÇIKIŞ}(^{\circ}C)$	46,19986	46,57507	46,95117	46,75591	46,74998

Bu değerler grafik üzerinde incelendi.



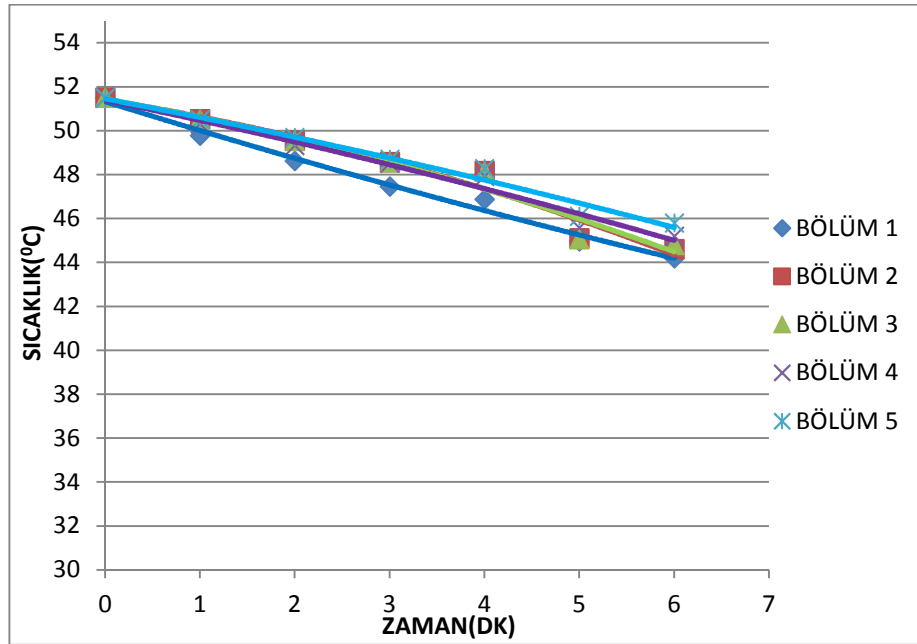
Şekil 5.39. Cam yünsüz sıcaklık dağılımları

Cam yünlü sıcaklık değerlerini incelendi.

Tablo 5.32.Hesap edilen cam ynl sıcaklık değerleri

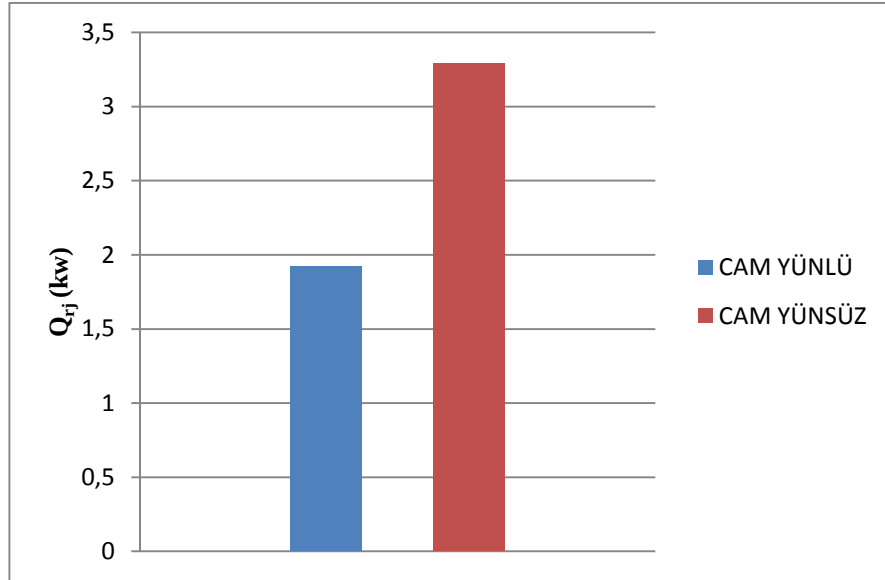
	1. L	2. L	3. L	4. L	5. L
$T_{GİRİŞ}(^{\circ}C)$	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5
$T_1(^{\circ}C)$	49,78539	50,52564	50,5188	50,32393	50,50377
$T_2(^{\circ}C)$	48,62848	49,54855	49,53487	49,33317	49,69422
$T_3(^{\circ}C)$	47,46747	48,56735	48,54684	48,52635	48,69389
$T_4(^{\circ}C)$	46,87192	48,15575	48,13251	47,92124	48,27274
$T_5(^{\circ}C)$	44,96162	45,1037	45,05842	45,5773	46,10043
$T_{ÇIKIŞ}(^{\circ}C)$	44,2	44,6	44,8	45,2	45,8

Bu değerleri grafik üzerinde incelendi;

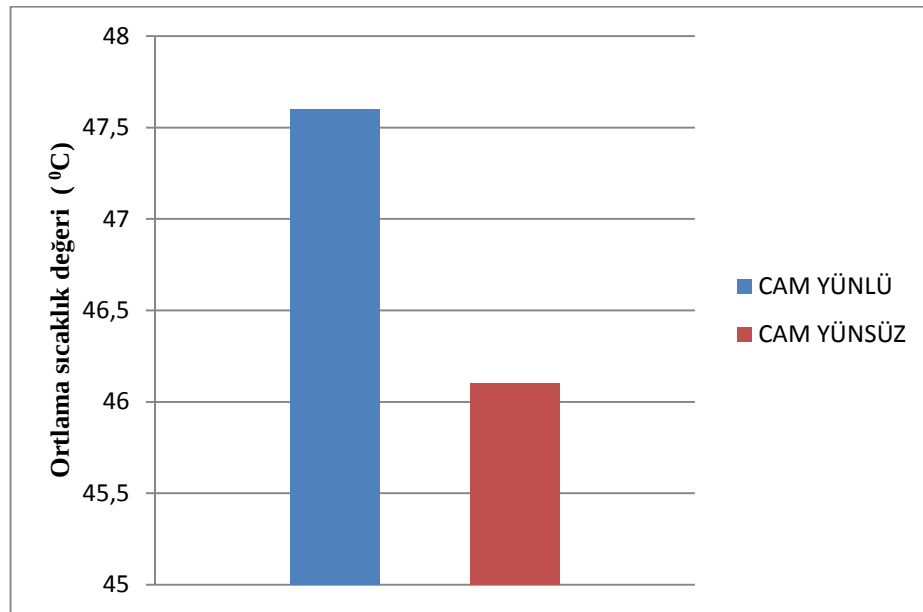


Şekil 5.40. Cam ynl sıcaklık dağılımları

Tüm bu grafiklerin ışığında her iki donatı için ısı transfer miktarları ve ortalama sıcaklık değerleri Şekil 5.41 ve Şekil 5.42'de incelendi.



Şekil 5.41. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı Q_{rj} değerleri



Şekil 5.42. Cam yünlü ve cam yünsüz donatılı depoda spiral boru ortalama sıcaklık değerleri

Şekil 5.41'de cam yünsüz donatılı ısı transfer hızının cam yünlü donatıya göre daha fazla oldu görülmektedir. Şekil 5.42'de ise ortalama sıcaklıkların cam yünlü donatılı depoda daha yüksek olduğu görülmektedir. Buda cam yünlü donatının ısıl etkinliğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Elde edilen tüm veriler, sonuçlar bölümünde değerlendirildi.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Cam yünü 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 transfer hızı 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 2.16 ve Şekil 2.17'de görüldüğü gibi, vurgulanması gereken bir diğer konu da ısıнын geri kazanılması sırasında daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir olmasıdır. Sonuç olarak cam yünlü donatıda sıcaklık farklarının düşük olmasından dolayı ısıнын niteliği daha uzun süreli korunabilmektedir.

Cam yünsüz donatıda ısı geçiş katsayısının değeri cam yünlü durumdakine göre yaklaşık iki kat daha büyüktür. Bundan dolayı transfer edilen ısı güç cam yünlü uygulamada yaklaşık yarıya düşmektedir, bu dezavantajı gidermek ve aynı ısı gücü sağlamak için ısı geçiş yüzeyini iki katına çıkarmak gerekmektedir.

Rejenerasyon parametreleri sabit tutulduğunda, bu iki farklı durum için ortaya çıkan sonuç: Kısa süreli ve yüksek rejenerasyon frekansları söz konusu olduğunda cam yünsüz depo donatılarının, uzun süreli ve düşük frekansta yüklemeler söz konusu olduğunda ise cam yünü donatılı depolar tercih edilmelidir.

KAYNAKÇA

- [1] TMMOB, Enerji Politikaları, Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Raporu, Makine Mühendisleri Odası, Yayın no MMO/2006/417,ISBN :9944-89-110-X,2006.
- [2] Abut, N., Çakır, B., Üzeyir, A., Bozkurt, A. ve Nuri, E. 1997, 2000’li Yıllarda Ulusal Arz-Talep Dengesi Işığında Türkiye Enerji Politikaları. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 3-8 Kasım 1997, Türkiye 7. Enerji Kongresi., Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, 1:31-40s,1997.
- [3] Macphee, D. and Dinçer, I. Thermodynamic analysis of freezing and melting processes in a bed of spherical PCM compulses. Journal of Solar Energy Engineering, 131(3) (0310017); 1-11p, 2009 a.
- [4] Macphee, D. and Dinçer, I. Heat transfer thermodynamic analyses of some typical encapsulated ice geometries during discharging process. Journal of Heat Transfer, 131 (082301):1-15p, 2009b.
- [5] Çalışkan, H. Özgün ısııl enerji depolama sistemlerinin analizi ve performans. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Doktora Tezi, 5-31,32, 2012.
- [6] Türkiye’de enerji ve geleceği, İstanbul, İTÜ Nisan, 2007.
- [7] Dinçer, I. The role exergy policy making. Energy Policy,30(2):137-149p, 2002.
- [8] Rosen M.A. and Dinçer I. On exergy and enviromental impact. International Journal of Exergy Research, 21:643-54p, 1997.
- [9] World Energy Outlook IEA(EİGM/ETKB), 2013.
- [10] EİGM/ETKB Genel Enerji Denge Tabloları.
- [11] Renewables 2012 global status report, Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), Paris, France, 2012.

- [12] Paksoy, H.Ö., Evliya, H.,Turgut, B.,Mazman, M., Konuklu Y., Gök Ö., Yılmaz, M.Ö., Yılmaz, S., Beyhan, B. ve Sahan, N. Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Depolama ile Değerlendirilmesi. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 11. Enerji Kongresi,21-23 Ekim 2009, Tepekule Kongre ve Fuar Merkezi, İzmir, Türkiye, 2009a.
- [13] Paksoy, H., Evliya, H., Turgut, B., Mazman, M., Konuklu, Y., Gök, Ö., Yılmaz, M.,Ö, Yılmaz, Beyhan, B., Şahan, N., Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Enerji Kaynaklarıyla Değerlendirilmesi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 11. Enerji Kongresi, 21-23 Ekim 2009, Tepekule Kongre ve Fuar Merkezi, İzmir, Türkiye, 2009b.
- [14] Wille, A. and Lottner, V. R&D programe on thermal energy storage in Germany; ECOSTOCK, 10 th International Thermal Energy Storage Conference New Jersey, USA, 31 May - 2 June 2006.
- [15] Snijders, A.L. ATES market development in the Netherland; ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, New Jersey USA,31 May-2 June 2006.
- [16] Snijders, A.L. and Van Aarssen, M.M. Application of large scale energy storage in the Netherlands; FUTURESTOCK 9 th International Thermal Energy Storage Conference, Warsaw, Poland 1-4 September 2003.
- [17] Beatly, B., Dinçer, I. and Bright, K. Canada's largest BTES systems - 74000 m borehole field, ECOSTOCK. 10 th International Thermal Energy Storage Conference, New Jersey, USA, 31 May-2 June 2006.
- [18] Wong, W. P., Mcclunng, J. L., Kokko, J.P. and Snijders, A.L. First large scale solar seasonal BTES in CANADA; ECOSTOCK, 10th International Conference on Thermal Energy Storage, New Jersey, USA, 31 May - 2 June 2006.
- [19] MacCracken, M. Ice Thermal Storage and LEED Gold; ECOSTOCK 10 th International Thermal Energy Conference, New Jersey , USA 31 May-2 June 2006.
- [20] Dinçer,I. and Rosen, M.A.Thermal Energy Storage Systems and Applications, United Kingdom: John Wiley and sons,2009.
- [21] Dinçer, I. and Rosen, M.A. Thermal Energy Storage Systems and Aplications, NewYork; John Wiley and sons, 2002.
- [22] Karaipekli, A. Faz Değişimli Enerji Depolama Maddelerinde Isıl İletkenliğin Zenginleştirilmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans, Tokat, P.4, 2006.

- [23] Dinçer, İ., Dost, S. A., Perspective on Thermal Energy Storage Systems for Solar Energy Applications. *International Journal of Energy Research* , 20 (6): 547:557,1996.
- [24] Dinçer, İ. Thermal Energy Storage and Phase-Change materials. Course on Porous Media, 17-21June, Evora, Portugal, 2002.
- [25] Kılıkış, B., Kakaç, S. Importance of Energy Storage, Energy Storage Systems. NATO ASI Series , Kluwer Academic Pub, The Netherlands, 1989.
- [26] Yang, W.J. Thermal Energy Storage Systems and Their Dynamic Behaviour, Energy Storage Systems. NATO ASI Series , Kluwer Academic Pub, The Netherlands, 1989.
- [27] Çengel, Y.A. Heat Transfer a Pratical Approach (Second Edition). McGraw Hill, 2003.
- [28] Wang, X. Lu, E., Lin, W., Liu, T., Shi, Z., Tang, R., Wang, G., Heat Transfer Storage Performance of the Binary Systems Neopentyl glycol/pentaerythritol and neopentyl glycol/trihydroxy menthylaminomethane as solid phase change materials., *Energy Conservation and Management* 41:129-134.
- [29] Pıllai, K.K., Brinkwarth, B.J. The storage of low grade thermal energy using phase change materials. *Applied Energy* 2: 205-216, 1976.
- [30] Shah, R., K. and Sekulic, D. P. Fundamentals of heat exchanger design. John Wiley & Sons Inc., USA, 2003.
- [31] Çeteci, Ö., M., Bilgisayar yardımıyla ısı değıştirici tasarımı İTÜ., FBE., İSTANBUL, 1999.
- [32] Kaçar. E, N., Erbay, L., B. Isı Değıştiricilerin Tasarımına Bir Bakış. *Mühendis ve Makina*, cilt 54, sayı 644, s 14-53, 2013.
- [33] Genceli, O., F. Isı Eşanjörleri Ders Notları, İTÜ. Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1983.
- [34] Yakut, M, Z. Soğutucu Akışkan-Hava ile Çalışan Isı Değıştiricilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [35] Çengel.Y,A., Isı ve Kütle Transferi,Baskı 3, s 17-29.
- [36] Kozak, M., & Kozak, Ş. Enerji Depolama Yöntemleri. *SDU International Journal of technologic Science* , 17-29, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Korhan ÖKTEN,1990 yılında Ankara’da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı.2009 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne girdi.2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisansına başladı. 2015 yılında Amasya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi oldu. Görevine hala devam etmektedir.