

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

KİMYA PROGRAMI

ISI POMPALARINDA KULLANILABİLECEK ISI DEPOLAYICI MADDELERİN

ARAŞTIRILARAK EN UYGUN OLANININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

4228

Kim.Müh. Kamil KAYGUSUZ

HAZİRAN 1988

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

TRABZON

KİMYA ANABİLİM DALI

KİMYA PROGRAMI

ISI POMPALARINDA KULLANILABİLECEK ISI DEPOLAYICI MADDELERİN
ARAŞTIRILARAK EN UYGUN OLANININ BELİRLENMESİ

Kimya Müh. Kâmil KAYGUSUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Yüksek Lisans (Kimya)"

Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17/06/1988

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 08/07/1988

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Nurbay GÜLTEKİN

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Oktay TORUL

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. H.Basri ŞENTÜRK

Enstitü Müdürü : Prof.Dr. Doğan TURHAN

HAZİRAN 1988

TRABZON

ÖNSÖZ

K.T.Ü Araştırma Fonu tarafından desteklenen bu çalışma Makina ve Kimya Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın yapılmasında baştan sona desteğini esirgemeyen Sayın Hocam Doç.Dr. Nurbay GÜLTEKİN'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca Makina Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Öğretim üyesi Sayın Doç.Dr. Tecman AYHAN Beye ve aynı kürsünün Laboratuvar teknisyeni Sayın Veysel KAZAZ Beye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	IV
SUMMARY	V
BÖLÜM 1.GİRİŞ.....	i
1.2. Isı Pompalarının Tarihçesi ve Gelişimi.....	i
1.3. Isı Pompalarının Teorisi.....	2
1.4. Isı Pompalarının Ekonomisi.....	19
BÖLÜM 2.DENEYSEL KISIM.....	25
2.1.Kullanılan Maddeler.....	25
2.2.Kullanılan Aletler.....	25
2.3.Deneylerin Yapılışı.....	28
BÖLÜM 3.DENEY SONUÇLARI.....	36
3.1.Tuz Hidratların Isı Depolama Kapasiteleri.....	37
BÖLÜM 4.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ÖZET

Bu çalışmada, evlerin ısıtılmasında kullanılan ısı pompalarına ısı kaynağı olabilecek çeşitli kimyasal maddeler araştırıldı. Isı kaynağı olarak havayı kullanan ısı pompasının ısıtma kapasitesi, ısı ihtiyacının az olduğu zamanlarda büyük, ısı ihtiyacının fazla olduğu zamanlarda küçük olmaktadır. Bu nedenle, ısıya ihtiyaç olmadığı zamanlarda ısı $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ın fizyon gizli ısısı halinde depo ederek gerekli olduğu zamanlarda kullanmak ekonomik bir yöntemdir.

Bölüm 2'de görüldüğü gibi evlerin ısıtılmasında kullanılan ısı pompaları için çeşitli ısı kaynakları kullanılabilir. Ancak kullanılacak olan ısı kaynağı hem bol ve ucuz olmalı hemde günlük yada sezonluk sıcaklık değişimlerinden etkilenmemelidir. Aksi takdirde ısı ihtiyacının fazla olduğu zamanlarda COP (Performans katsayısı) değeri azalır. Birincil enerji kaynağı veya elektrikle direkt ısıtmanın pahalı olması alternatif çözümlerin araştırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Evlerin ısı pompalarıyla ısıtılması için bu problemin en iyi çözümü yaz aylarında ve güneşli günlerde toplanan ısıyı depolayarak soğuk günlerde kullanmaktır. Isıyı depolamak için pek çok depolama ortamı vardır. Fakat ısı depolamak için maddelerin füzyon ısısını kullanmak daha uygundur. Uygun ısı depolama sisteminin seçimini etkileyen en önemli faktörler ısı depolama kapasitesi ve erime noktasının düşüklüğüdür.

Bu çalışmada, füzyon ısısına sahip maddelerin erime noktaları, gizli ısıları ve ısı depolama kapasiteleri ölçüldü. Deney sonuçları Tablo.3.1 ; Tablo.3.2 ; 3.3 ; 3.4 ; 3.5 ve Şekil.3.1 ; 3.2 ; 3.3 ; 3.4 ; 3.5'de görülmektedir. Tablodan görüldüğü gibi konutların ısıtılmasında füzyon ısı ortamı (yahut materyalı) olarak kullanıma uygun olan ve öngörülen çalışma sıcaklığı aralığına sahip olan madde seçilebilir.

SUMMARY

Heat Storage Materials Which Can be Used In Heat Pumps are Investigated In Order to Select The Best Suitable Material

In this work, various chemical substances which are the most sensitive for dynamic heat storage for domestic heat pump systems have been investigated. The capacity of the air-source heat pump is greatest when its heat requirement is least and vice versa. Therefore, it is conceivable that its excess heat could be stored using latent heat of fusion of $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ during low heat demand periods for use during high demand period. The result would be a smaller unit approaching continuous operation.

As has been shown in chapter 2, the heat sources available for domestic heat pump systems, if they are to be commercially attractive to manufacturers wishing to produce in quantity, are susceptible to seasonal and daily temperature variations which unfortunately lead to lower COP's (Coefficient of performance) at times when the building heating demand is greatest. The expense of direct supplement electric heating and primary energy source have led to the search for alternative solutions. The best solution of this problem for domestic heat pump system is the storage of heat collected during the summer, or on winter days when solar energy can be effectively utilized. There are various heat storage media but the use of the heat of fusion of materials for heat storage, as with sensible heat storage techniques is determined largely by the volume capacity and low melting point of material.

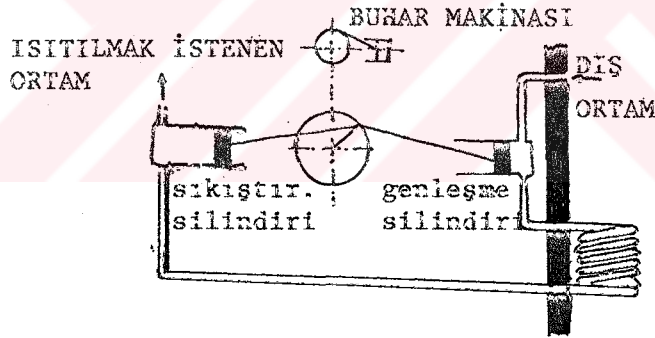
In this work, the latent heat, heat storage capacity, melting points of sensible fusion materials have been measured. The results of experiments are shown in Table 3.1; 3.2; 3.3; 3.4 and 3.5 and Figure 3.1; 3.2, 3.3, 3.4 and 3.5. It can be seen from the Table that heat of fusion media (or material) can be selected to cover a reasonable range of operating temperatures appropriate to domestic use.

BÖLÜM 1 ISI POMPASI

1.1. Isı Pompalarının Tarihçesi ve Gelişimi

Isı pompasının temel prensibi 19.yy başlarında Carnot tarafından ortaya atıldı ve ilk defa 1924 yılında yayımlandı. Pratik bir ısı pompa sistemi ise ilk defa Thomson tarafından önerildi. Thomson'un önerdiği ısı pompası "ısı yükseltici" olarak adlandırılmaktaydı ve amacı soğutma makinesi kullanarak aynı zamanda ısıtma işlemini gerçekleştirmektir.

Lord Kelvin'in havayı iş gören akışkan olarak kullandığı bu sistemde dış ortamın havası bir silindire çekilerek genişletilmiştir. Bu sırada sıcaklığı ve basıncı düşen hava dış ortama yerleştirilen bir ısı değiştiricisinden geçerken ortamdaki ısı alır. Isınan hava tekrar atmosfer basıncına sıkıştırılarak aldığı ısıyı odaya verir.



Şekil.1.1. Isı yükseltici

Ancak hava sıkıştırıldığından sıcaklığı normal atmosfer sıcaklığından daha fazladır. Lord Kelvin bu makinenin başarıyla uygulanacağını ve doğrudan yanma ile bir evin ısınması için harcanan enerjinin %3 ile aynı evin ısıtılmasının mümkün olabileceğini iddia etmiştir (Reay ve diğ., 1979)

20.yy da sistemin soğutucu kısımları ile ilgili gelişmesi 1920-1930 yılları arasında olmuştur. 1927 de Haldane Scotland'da bu konuyla ilgili çalışmalar yapmıştır. Önce İngiltere de, daha sonra 1939 da Zürich de seri üretime geçilmiştir. Bu dönemdeki ısı pompalarında ısı kaynağı olarak nehir suyu kullanılmıştır. Bu ısı pompalarında kompresör olarak döner kompresör ve devridaim sıvısı olarak da R-12 kullanılmıştır. O dönemde 175 Kw lık bir sistem Zürich belediye binasının ısıtılmasında kullanılmış ve su sıcaklığının 60 C ye çıktığı gözlenmiştir.

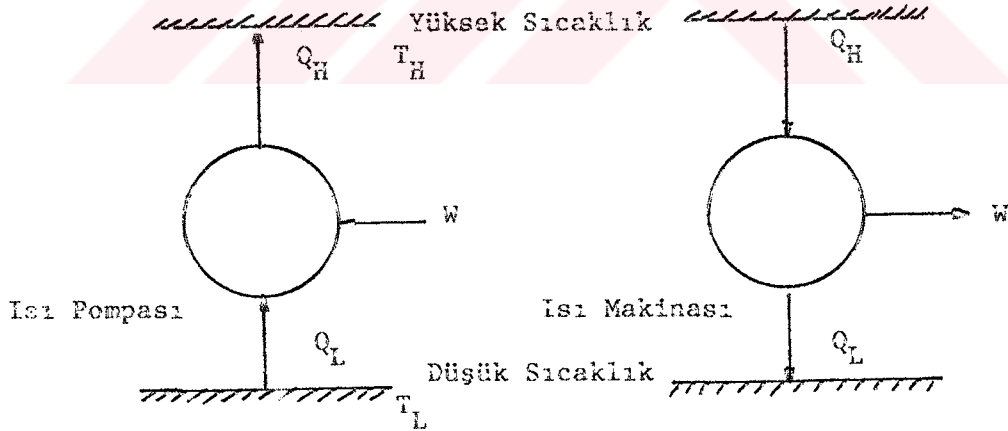
İngiltere de kullanılan ısı pompaları genelde elektrik enerjisiyle çalışmaktaydı. Isı pompası için ısı kaynağı olarak nehir suyu ve sıcak su kullanılmaktaydı. Oxford'da Nuffield Collage 1954 de ısı pompalarına ısı kaynağı olarak lağım sularını kullanmıştır. (Sumner, 1976)

Amerika'da ise, Carrier firması ilk paket tipi ısı pompasını yapmasına karşın, İkinci Dünya Savaşı nedeniyle çalışmalar durmuştur. İlk paket tipi ısı pompası piyasaya 1951 yılında sunulmuştur. Daha sonraki yıllarda gelişmeler artarak devam etmiş ve 1980'li yıllarda yıllık üretim bir milyon adetini üzerine çıkmıştır. Günümüzde en çok ısı pompası kullanan ülkeler A.B.D ve Japonya'dır. Bilhassa bu ülkelerin güney bölgelerinde ısı pompaları ısıtma ve soğutma amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. (Reay, 1979)

Ülkemizde ise ısı pompaları oldukça yeni olup henüz gelişme safhasındadır. Sadece soğutma amacıyla soğuk hava depolarında kullanılmaktadırlar. Hem ısıtma ve hem soğutma amacı ile kullanılmaları ise ülkemizde fazla yaygın değildir.

1.2. Isı Pompalarının Teorisi

Isı pompası, basit olarak ısı makinasının tersi şeklinde düşünülebilir. Isı makinaları, yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından düşük sıcaklıktaki ısı kaynağına ısı aktarırken iş üreten makinalardır. Isı pompaları ise, dışardan iş alarak düşük sıcaklıktaki bir ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki kaynağa ısı nakledebilirler.

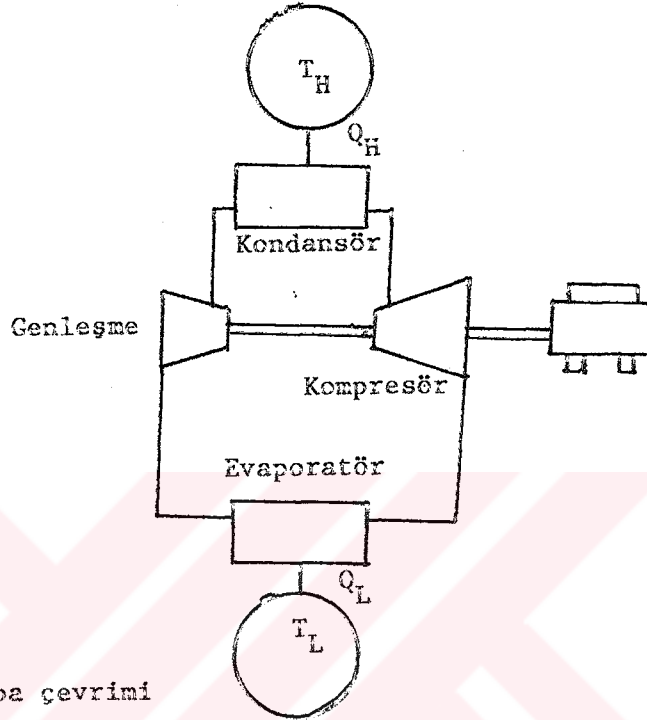


Şekil.1.2. Isı pompası ve Isı makinesinin Termodinamik modeli

Her iki makine de Q/W oranı aynıdır. Bunun için bu oran çok önemlidir. Isı makinalarında bu oran W/Q_M olarak verilir ve buna termik verim denir. Isı pompalarında ise Q_M/W oranı olarak bilinir ve bu orana performans katsayısı (COP: alınan ısının pompalamada kullanılan işe oranı) denir.

1.2.1.Çevrim

Komresörden yüksek sıcaklık ve basınçta çıkan buhar yoğunlaştırıcıda buharlaşma ısısını bırakarak yoğunlaşır.Genleşme vanasında genleştirilmiş olarak düşük basınçlı ısı değıştircisine (buharlaştırıcıya) gelir.Buharlaştırıcıda düşük sıcaklıkta ısı absorblayıp tekrar buhar haline geçerek yüksek basınçlı komresöre pompalanır.Böylece çevrim tamamlanmış olur.



Şekil.1.3. Isı-pompa çevrimi

Her iki ısı değıştircisindeki basınç ve sıcaklık birbirinden çok farklı ise pompaya dışardan daha fazla iş verilmesi gerekir.İki ısı kaynağı arasındaki sıcaklık farkının yükselmesi ile performans katsayısı COP düşer.

Gerçek COP değeri vanalarda,pompalarda ve motorlarda ısı ve iş kayıpları yüzünden teorik COP değerinden daima daha küçük olur.Isı pompalarının genel prensibi ,devridaim sıvısının iki adyabatik ve iki izoterm dönüşümü içeren kapalı bir çevrim olduğundan bu tip çevrimlerden ve termodinamiğin 2. kanunundan burada bahsetmek uygun olur.

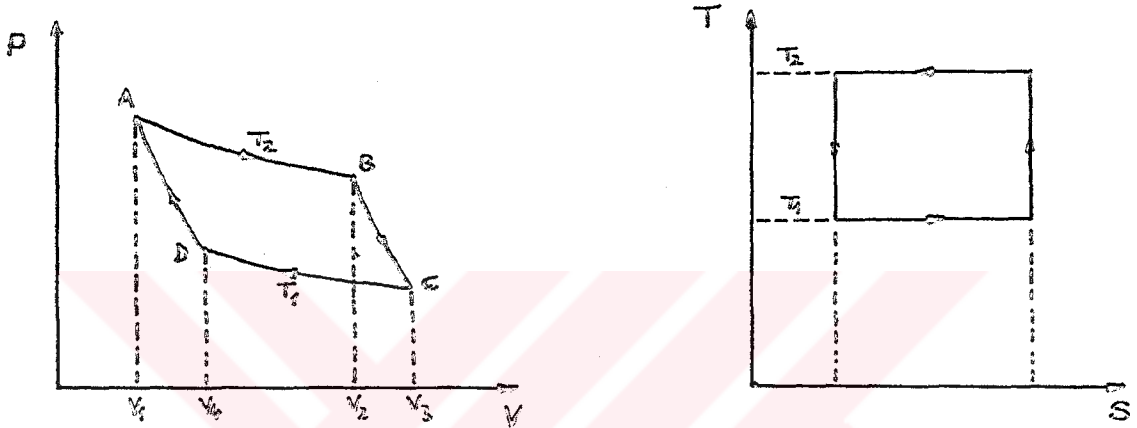
Termodinamiğin 2. Kanunu : Termodinamiğin 1. kanunu ısının işe veya işin ısıya dönüşmesi ve bu dönüşümün belirli oranlarda olduğunu ifade eder.İş her zaman ısıya dönüşebildiği halde ısının işe dönüşmesi her zaman mümkün değildir.Isının işe dönüşmesi için özel şartlar gerekir.Bu şartların neler olduğunu Termodinamiğin 2. prensibi belirler.Bundan başka bir sistemin dengede olup olmadığını,dengede değilse dönüşümün yönünü önceden belirtmeye yarar.

Kelvin-Planck Tanımı : Tek bir ısı kaynağından ısı almak suretiyle iş elde etmek mümkün değildir. Bu tanım tek bir ısı kaynağından alınan ısıyı eşdeğer işe dönüştürerek çevrimini tamamlayan bir makinanın yapılamayacağını ifade eder.

Clasius Tanımı : Dış ortamdan iş vermeksizin soğuk ortamdan sıcak ortama ısı nakletmek mümkün değildir.

1.2.2. Carnot Çevrimi

Sabit sıcaklıktaki bir kaynaktan ısı alıp sabit sıcaklıktaki başka soğuk kaynağa ısı vererek çalışan makinalardan hiçbiri reversibül makinalardan daha iyibir verime sahip olamaz.



Şekil.1.4.Carnot Çevrimi P-V ve T-S diyagramları

İki ısı kaynağı arasında periyodik olarak çalışan reversibül ısı makinasının verimini hesaplamadan önce Carnot çevrimini inceleyelim. (Şek.1.4) Carnot çevrimi iki izoterm ve iki adyabatik dönüşümden ibarettir ve bu dönüşüm reversibüldür. Bu dönüşümün P-V grafiğini inceleyelim.

A noktasında hacmi V_1 sıcaklığı T_2 olan bir gaz B'ye kadar izoterm olarak genişletilir. Hacmi V_1 den V_2 ye çıkan gazın bu arada almış olduğu ısı Q_2 dir. Daha sonra V_2 hacminden V_3 hacmine adyabatik olarak genişletilir. Gazın sıcaklığı C noktasında T_1 e düşer. Tekrar V_3 hacminden V_4 hacmine izoterm olarak sıkıştırılırsa Q_1 ısını bırakır. V_4 hacminden V_1 hacmine adyabatik olarak sıkıştırılırsa sıcaklığı tekrar T_2 ye yükselir. Böylece iki izoterm iki adyabatik çevrimden ibaret kapalı bir çevrim elde edilmiş olur.

(A-B) izotermik genişleme esnasında gaz tarafından dışa karşı yapılan iş;

$$W_{AB} = P_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

veya ideal gazlar kanununu tatbik edersek,

$$Q_2 = \frac{RT_2}{J} \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \text{ yazılır.}$$

(C-D) izotermik sıkıştırma esnasında sisteme verilen ısı ;

$$Q_1 = - \frac{RT_1}{J} \ln \left(\frac{V_4}{V_3} \right) = \frac{RT_1}{J} \ln \left(\frac{V_3}{V_4} \right)$$

0 halde Carnot verimi ; $\eta_c = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$

$$\eta_c = \frac{\frac{RT_2}{J} \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) - \frac{RT_1}{J} \ln \left(\frac{V_3}{V_4} \right)}{\frac{RT_2}{J} \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)}$$

Halbuki B-C ve D-A adyabatik işlemleri için ;

$$Q = 0 = E = C_v (T_2 - T_1)$$

$$T_2 V_1^{k-1} = T_1 V_4^{k-1} ; T_2 V_2^{k-1} = T_1 V_3^{k-1} \text{ oranlanırsa } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^{k-1} = \left(\frac{V_4}{V_1} \right)^{k-1}$$

0 halde, $\frac{V_3}{V_2} = \frac{V_4}{V_1}$ veya $\frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1}$

Verim ifadesinde bu eşitlik yerine konursa ;

$$\eta_c = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} , \quad W = Q_2 - Q_1 \text{ buradan } \frac{W}{Q_2} = \eta_{\text{termik}}$$
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ ise } \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

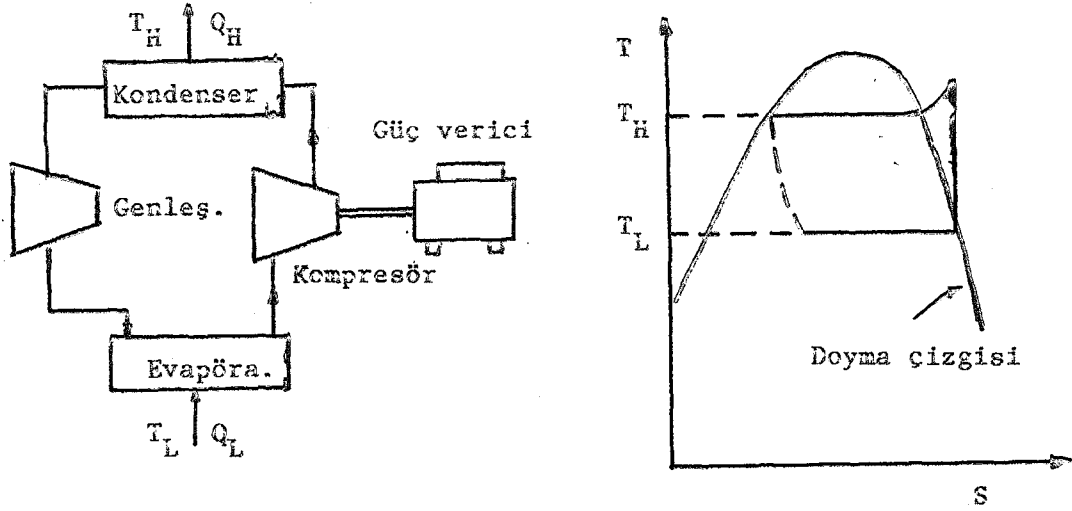
Isı makinaları için geçerli olan termik verim ifadesini benzer bir ifade ısı pompaları için elde edilebilir. Isı pompalarında Carnot çevrimi ısı makinalarının izlediği yolun tamamen tersini izlediğinden ısı pompasının performans katsayısı (soğutma verimi) COP değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

1.2.3. Mekanik Buhar Sıkıştırma Çevrimi

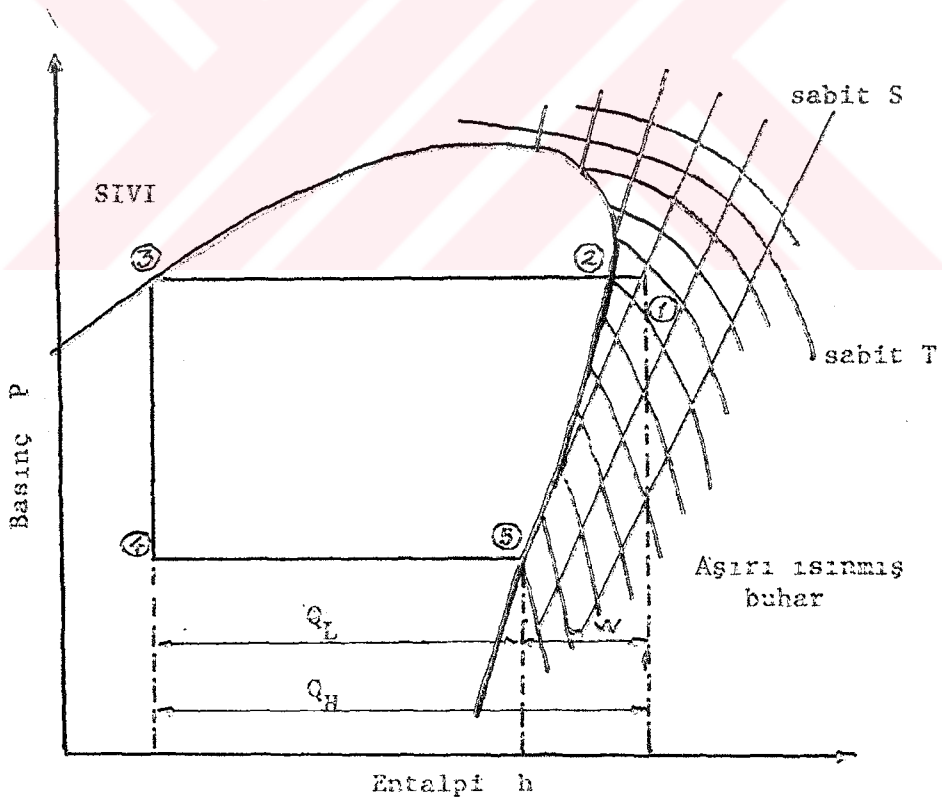
Isı pompasında basit bir karnot çevriminin verimine ulaşmak için izotermal şartlarda çalışmak gerekir. Bu ise uygun sıcaklık ve basınçlarda faz değiştirebilen devridaim sıvısı seçilerek sağlanır. Devridaim sıvısının buharlaştırıcıda buharlaşan kısmı ısı absorbe eder ve absorbe ettiği ısıyı yoğunlaştırıcıda yoğunlaşarak verir. Bu durum Şekil. 1.5 T-S diyagramında görülmektedir. Bunlar çevrimin izotermal basamaklarıdır. Çevrim kuru buharın kullanılmasına uygundur. Mekanik olarak buharın sıkıştırılma çevrimi bir Entalpi-Basınç (P-h) diyagramı şeklinde gösterilebilir. Böyle bir diyagram

Şek.1.6 da görülmektedir.Yüksek basınçlı devridaim sıvısı 1 noktasında komresörü terkedir.Komresörden çıkan gaz aşırı ısınmış durumdadır. 2 noktasında yoğunlaşmadan önce soğuması gerekir.



Şekil.1.5. Mekanik buhar sıkıştırma çevrimi

Yoğunlaşma 2-3 noktaları arasında gaz kalmayınca kadar izoterm olarak devam eder.Adyabatik genişleme P-h diyagramında 3-4 noktaları arasında dik çizilerek gösterilebilir.



Şekil.1.6. Basınc-entalpi diyagramında ideal buhar sıkıştırma çevrimi

Çevrimi analiz edebilmek için, çalışma sıvısının giriş ve çıkış durumunu bilmek yeterlidir. Ara durumlar doğru çizgilerle gösterilebilir. 4-5 arasında, sabit basınç ve sıcaklıkta buharlaşma meydana gelir. Devridaim sıvısının, buhar ve sıvısından oluşan iki fazlı karışımda ise genleşme olur. 5-1 arasında kuru buhar izentropik olarak sıkıştırılır. Pratikte bu duruma ulaşılamaz. Çünkü izentropik olması için sıkışmanın tersinir olması gerekir. Oysaki burada tersinmez çalışan bir nozul mevcuttur.

Burada incelediğimiz çevrim ideal bir çevrimdir. P-h diyagramının yatay ekseni üzerinde Q_L, Q_H ve W değerlerinin doğrudan görülebilmesi bu diyagramın avantajlarından biridir.

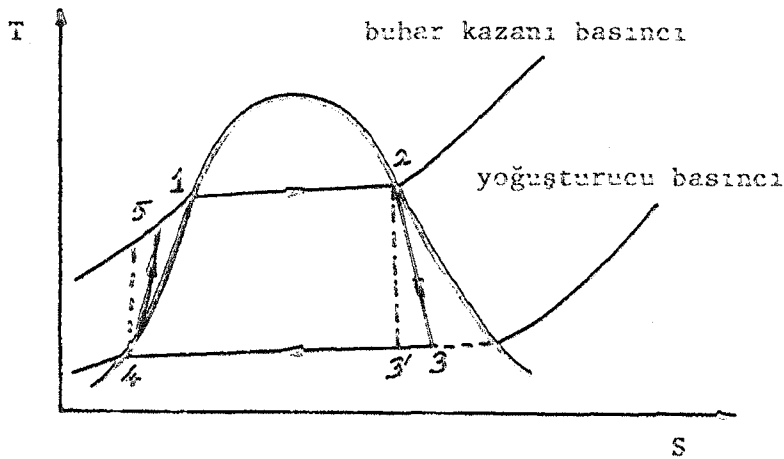
$$Q_H = Q_L + W$$

yazılabildiğinden ısı pompasının COP değeri entalpi ekseni üzerindeki değerler yardımıyla bulunabilir. Yüksek COP değerine ulaşabilmek için Q_L 'in büyük, W 'nin ise küçük olması gerekir.

Mekanik buhar sıkıştırma çevrimi, ısı pompalaması veya soğutma için aynı olup, geneide ters Rankine çevrimi bazında Rankine çevrimi olarak adlandırılır. Rankin çevrimi elektrik üretimi için kullanılan buhar türbinlerinin çalışmasını analiz ederken kullanılır. Rankine çevrimi ile Mekanik buhar çevrimi arasında iki fark vardır. Birincisi yönleri farklıdır. Rankin çevrimi bir güç çevrimi olup türbin içerisinde genişleyen buharın gücünü alır. İkincisi Rankin çevriminde buhar sıkıştırılıp tamamen sıvı hale geçer.

1.2.4. Rankine Çevrimi

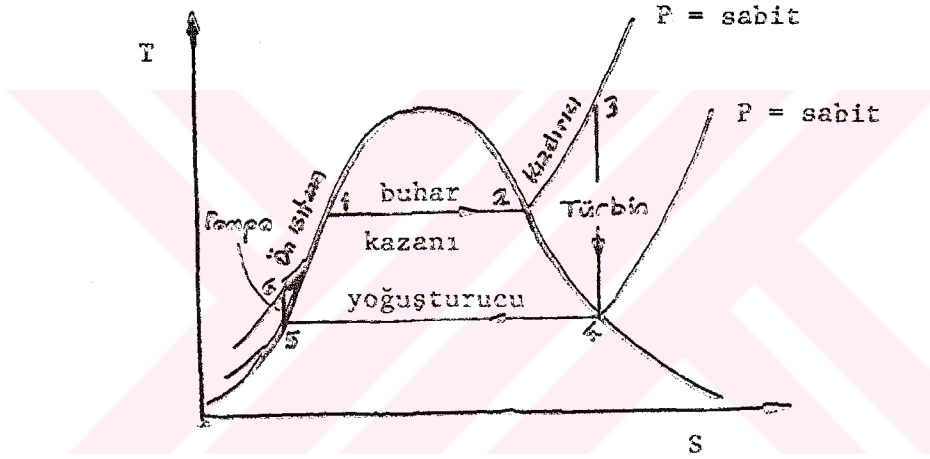
Rankine çevrimini kısaca şöyle özetleyebiliriz. Bir buhar kazanında yüksek basınç ve sıcaklıktaki buhar, bir türbinden geçtikten sonra bir yoğuşturucuya girer. Buradan çıkan sıvı su, bir pompa vasıtasıyla tekrar buhar kazanına gönderilir ve çevrim devam eder. Bu çevrim Şek. 1.7'deki T-S diyagramı üzerinde gösterilmiştir.



Şekil.1.7. Basit Rankine çevrimi

Şekilde gösterilen basit Rankine çevrimi ile Carnot çevrimi arasında görülen bariz bir fark, Rankine çevriminde türbinden çıkan buharın tamamen yoğuşturulması, yani 4. noktanın doymuş sıvı eğrisi üzerindedir. Bunun sebebi, iki fazlı sıvı-buhar akımını ileten kompresörlerin aşırı ölçüde mekanik aşınmaya uğramasıdır. Bu nedenle, buhar tamamen yoğuşturulur ve sıvı bir pompa vasıtasıyla buhar kazanına nakledilir.

Bu durum türbin içinde geçerlidir. Şekil.1.8 de görüldüğü gibi, kazandan çıkan buhar tamamen iki faz bölgesinde genişlemektedir. Aynı kompresörde olduğu gibi, içinden iki fazlı bir akım geçen türbinlerde aşırı ölçüde mekanik aşınmaya uğrar. Bunu önlemek için, kazandan çıkan buhar ısıtılarak kızgın buhar haline getirilir ve sonra türbinden geçirilir. Buharın kızgınlık derecesi, yani 3 noktasındaki sıcaklık Şekil.1.8 de gösterildiği gibi, türbinin çıkışının doymuş buhar eğrisi üzerine veya yakınına gelecek şekilde ayarlanır.



Şekil.1.8. Buhar kızdırmalı Rankine çevrimi

Buhar kızdırmalı Rankine çevrimi için toplam verim,

$$\eta_t = \frac{-W_{net}}{q_2} \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

Şimdi buradaki $-W_{net}$ ve q_2 terimlerinin karşılığını yazalım,

$$q_2 = h_2 - h_5 \text{ (suya aktarılan ısı)}$$

$$W_t = h_2 - h_3 \text{ (türbinden elde edilen iş)}$$

$$W_p = -\bar{V} (P_5 - P_4) \text{ (pompa yapılan iş)}$$

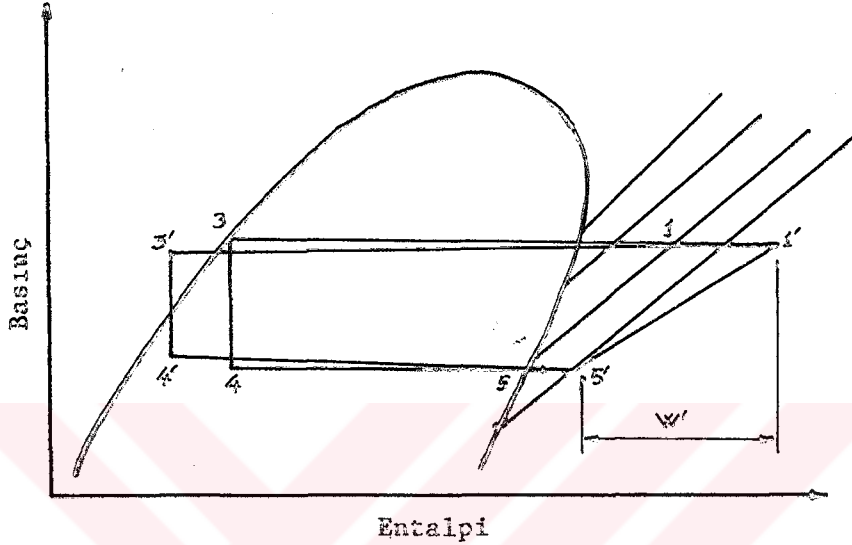
$$W_{net} = (h_2 - h_3) - \bar{V} (P_5 - P_4)$$

$$\text{Buna göre, } \eta_t = \frac{(h_2 - h_3) - \bar{V} (P_5 - P_4)}{(h_2 - h_5)}$$

burada \bar{V} , P_5 ve P_4 basınçları arasındaki ortalama özgül hacimdir.

1.2.5.Pratik Çevrim

Daha önce anlatılan çevrimler ideal çevrimlerdir.Bu çevrimlerde makinelerin %100 verimle çalıştığı kabul edilmiştir.Burada ise gerçek ve ideal çevrim arasındaki farklar incelenecektir.Kompresör ısı pompası çevrimini etkileyen önemli etkendir.Daha öncedende ifade edildiği gibi kompresörde kuru buhar sıkıştırılmalıdır.Bu nedenle devridaim gazı kompresöre girmeden önce bir miktar ısı alıp ısınmış olmalıdır.Şekil.1.9 da da görüldüğü gibi devridaim gazının pratikte kompresöre girişi 5 değil 5' noktası olmalıdır.



Şekil.1.9. Pratik buhar sıkıştırma çevrimi

Aşırı ısıtma ısı pompasında güvenlik sağlar.Buhar ile sıvı taneciklerin kompresöre girmesi sakıncalı olduğundan aşırı ısıtma gereklidir.Birçok kompresörün çıkış sıcaklığı sınırlı olduğundan sıcaklığın aşırısından kaçınmak gerekir.Ayrıca çıkış vanası içinde yüksek sıcaklıklar zararlıdır ve pratik çevrimlerde bir değişikliğe yol açarak devridaim sıvısı ile kompresör arasında ısı transferinin olmasına yol açar.Akıştaki tersinmezlikler nedeniyle kompresörün entalpisi gereğinden fazla artar.Bu ise kompresörün çıkış sıcaklığının artmasına yol açar.Bu durum Şekil.1.9 da 1' ile gösterilmiştir.

Dönen bir kompresörün izentropik verimi %70 dolayındadır.Ayrıca bir kompresörün verimini aşağıdaki iki yöntemle hesaplamak mümkündür.Bunlardan ilki Mekanik verimdir.Bu şafta uygulanan gücün devridaim sıvısına aktarılan miktarıdır.(Sumner, 1976).

$$\text{Mekanik Verim} = \frac{\text{Kompresöre Verilen Güç}}{\text{Akış Debisi * Entalpi Artışı}}$$

Mekanik verim %95 olup çalışma çevriminde izentropik verim kadar önemlidir.Gerçek bir sistemin COP'u için iki verim hesaba katılmalıdır.

Diğer bir verim ise Volumetrik verim olup, çevrimin COP'unu etkilemez. Ancak sistemin maliyetini etkiler. Kompresör büyüklüğü ile ilgilidir.

$$\text{Volumetrik Verim} = \frac{\text{giren madde miktarı} * \text{spesifik hacim}}{\text{birim zamanda kompresörün taradığı alan}}$$

Volumetrik verimde %95 civarındadır.

Kompresörün seçiminden başka çalışma çevriminde çeşitli güçlükler vardır. Devridaim sıvısı ısı değiştiricilerden geçerken basınç kaybına uğrar. Isı değiştiricilerde meydana gelen basınç kaybı ısı değiştiricinin izotermal çalışmasını etkilemez. İdeal çevrimde ısı değiştiriciler izotermal çalışırken, gerçek çevrimde basınç düşüşü bu çalışmayı bozar. Bu durum miktara bağlıdır. Net etki büyütülmüş olabilir. Gerçek etki buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcıda olur. İdeal çevrimden sapma aşırı soğuma ile ortaya çıkabilir. Bu durum buharlaştırıcıdan çıkan devridaim sıvısının aşırı ısıtılmasıyla çözümlenebilir. Aşırı soğuma ile açığa çıkan ısı, buharın aşırı ısıtılmasında kullanılabilir.

1.2.6. COP Değerinin Hesaplanması

Isı pompalarının artak ısıların geri kazanılmasında kullanılabileceği dikkate alınarak ideal bir Carnot ısı pompasının verimiyle pratikte elde edilebilen verimlerin karşılaştırılması yapılabilir.

Bu karşılaştırmayı yapmak için çeşitli maddeleri temizlemede su kullanılan bir fabrikayı göz önüne alalım. Temizleme suyu büyük bir tank içerisinde 65°C de ve temizleme işleminden sonra su 35°C de atılıyor. Bir ısı pompası kullanılarak atılan suyun içerdiği enerji tekrar tanka transfer edilebilir. Böylece tanktaki suyun sıcaklığı 65°C de tutulabilir. Burada hesaplamada kolaylık sağlamak amacıyla ısı değiştiricilerin kullanımı ihmal edilirse, Carnot'a göre elde edilebilecek en yüksek COP değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir;

$$\text{Carnot COP} = \frac{T_H}{T_H - T_L} + 1$$

T_H : tanktaki suyun sıcaklığı, °K
 T_L : atılan suyun sıcaklığı, °K

$$\text{COP} = \frac{(273 + 35)}{(273 + 65) - (273 + 35)} + 1 = 11,3$$

İlk iş olarak ısı pompasında kullanılan devridaim sıvısının buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıkları tespit edilmelidir. Bu sıcaklıklar kullanılacak ısı değiştiricilerinin boyutları ile ilgilidir. Buharlaşma sıcaklığını 15°C ve yoğunlaşma sıcaklığını 75°C olarak kabul edersek,

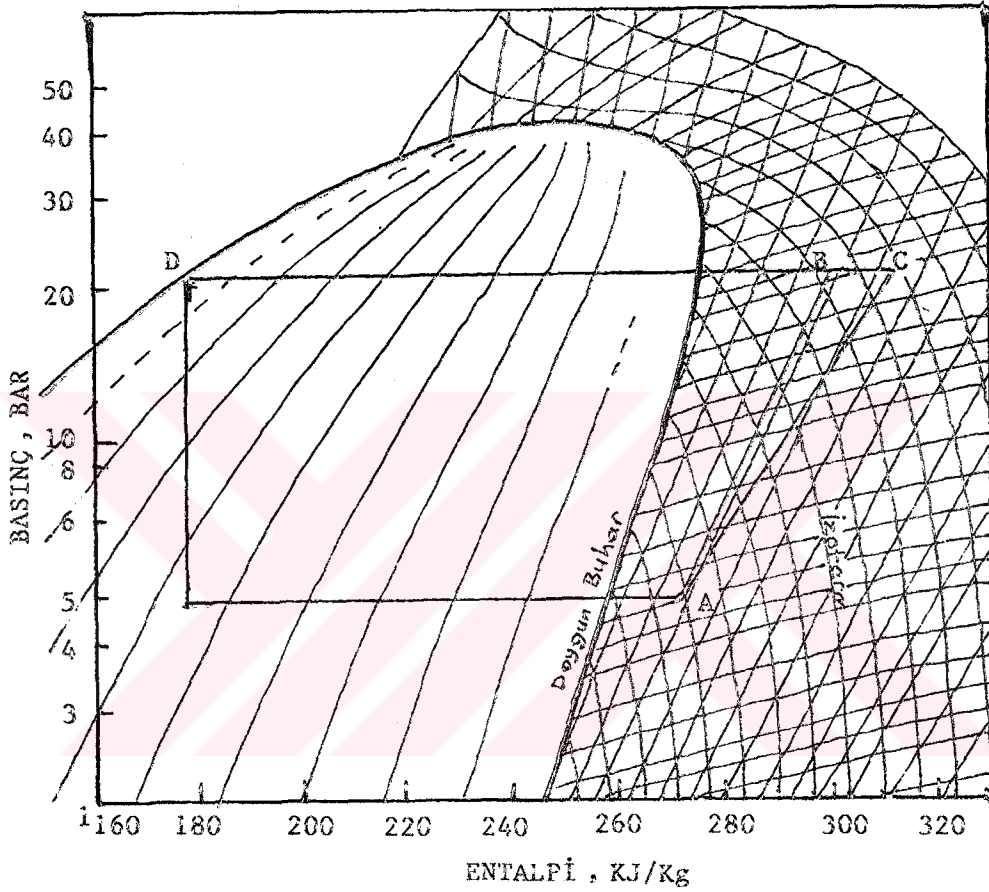
$$\text{COP} = \frac{(273 + 15)}{(273 + 75) - (273 + 15)} + 1 = 5,8$$

Görünen Carnot COF = 11,3

Isı değiştiricileri seçildikten sonra COF = 5,8

Buharlaştırıcıda ΔT büyük olmalıdır. Artık suyun enerjisi buharlaştırıcıya transfer olduğundan sıcaklığı düşer. Bu düşüş sonucu son sıcaklığın 20°C olduğunu kabul edelim. Ozaman $\Delta T = 35 - 20 = 15^{\circ}\text{C}$ olur.

Devridaim sıvısı olarak R-12 kullanılsın. Kompresör şartları dikkate alınarak çalışma çevrimi çizilebilir. Örneğimizde kompresöre 20°C de aşırı ısınmış R-12 buharı girmektedir.



şekil.1.10. R-12 kullanan ısı pompası çevrimi örneği

R-12 nin P-h diyagramı üzerinde ki çevrimini inceliyelim.

A noktası şöyle bulunur : 15°C kaynama noktasına karşılık gelen basınç 4,9 bar olup doğun buhar çizgisi üzerindedir. Entalpi eksenine paralel çizilerek 35°C de izoterm kestirilir. A noktasında entalpi değeri 217 KJ/Kg dir. Sabit entropi çizgisi izlenerek 75°C izoterm eğrisi kestirilerek sıvılaşma basıncı bulunur. Bu da 21 bar dir. Bu nokta izentropik çalışan bir kompresörden çıkan gazın basınç ve entalpi değerini verir. Bu B noktasının entalpisi 300 KJ/Kg, basıncı 21 bar dir.

Gerçek gazın temsil edildiği nokta ise izentropik verimle bulunur,

$$\text{İzentropik Verim} = \frac{h_B - h_A}{h_C - h_A} = \frac{300 - 271}{312 - 271} = 0.70$$

%70 lik izentropik verimle çalışan bir pompa için $h_C = 312$ KJ/Kg dir.

Yoğunlaştırıcıdan geçen devridaim sıvısının entalpisi izobar şartlar-
da yoğunlaşma nedeniyle D noktasına kadar düşer.D noktası yoğunlaştırıcı
çıkış basıncındaki doygun sıvının entalpisini verir.Burada ısı değiştirici
içindeki basınç düşüşü ihmal edilmiştir.Böylece $h_D = 177$ KJ/Kg dir.

$$\text{Pratik Çevrim COP} = \frac{h_C - h_D}{h_C - h_A} = \frac{312 - 177}{312 - 271} = 3,29$$

Kompresörün mekanik veriminin %95 olduğunu kabul edersek,

$$\text{Pratik COP} = 3,29 * 0,95 = 3,13 \text{ olur.}$$

1.2.7. PER (Primary Energy Ratio =Birincil Enerji Oranı)Değerini Kullanmak

COP,kompresöre verilen işe karşı elde edilen ısı miktarının bir ölçü-
südür.Kompresörü çalıştırmak için çeşitli enerji kaynakları kullanılabilir.
Bu enerji kaynağından üretilen enerjinin verimi dikkate alınmaz.Isı pompa-
sı sistemlerinde hangi enerji kaynağının kullanılmasının daha ekonomik
olacağını tespit etmek için PER değerleri hesaplanarak karar verilir.

PER (Primary Energy Ratio) değerini hesaplamak için sadece ısı pom-
pasının COP değeri değil,aynı zamanda birincil enerji kaynağının(örneğin
fuel-oil,doğal gaz,kömür yada güneş enerjisi)komresörün çalışması için
gerekli olan işe dönüşüm verimini de dikkate almak gerekir.

$$\text{PER} = \frac{\text{Isı pompasıyla elde edilen faydalı ısı miktarı}}{\text{Tüketilen birincil enerji miktarı}}$$

Isı pompasının kompresörünü çalıştırmak için gerekli işin,ısı verimi η
olan bir ısı makinesi kullanılarak üretildiği kabul edilirse PER değeri;

$$\text{PER} = \eta * \text{COP}$$

şeklinde hesaplanır.

PER,bir primer enerji kaynağının olduğu gibi kullanımı ile bu kaynaktan
üretilen enerjinin kompresöre uygulanması halinde elde edilen enerjilerin
karşılaştırılması için kullanılabilir.Primer enerjinin direkt kullanımı
halinde elde edilen enerjiden ısı pompası için kullanıldığında daha fazla
enerji üretildiği görülmektedir.Örneğimizdeki ısı pompasına termik verimi
 $\eta = 0,4$ olan bir ısı makinesinde üretilen iş kullanılırsa $\text{PER} = 1,2$ olur.

Görüldüğü gibi ısı pompası,yakıtın direkt yakılmasıyla elde edilen
ısıdan %24 daha fazla bir ısı verecektir.Eğer ısı pompası,dizel motorun-
dan birincil enerjinin %35 lik kısmını atık ısı olarak kullanıyorsa(sıcak
egzos ve radyatör gazı) PER'in değeri buna uygun olarak artar :

$$\text{PER} = 1,24 + 0,35 = 1,59$$

Bu değer, verimi 0,70 yada 0,80 olan bir buhar kazanlı ısıtma sistemiyle karşılaştırıldığında ısı pompasının birim yakıta karşı iki kat daha fazla enerji sağladığı görülür.

1.3.1. Isı Pompalarının Sınıflandırılması

Isı pompaları ısı kaynaklarına, işletme ve termodinamik çevrimlerine göre üç kısma ayrılır.

1. Isı Kaynaklarına Göre

- a-Hava
- b-Toprak
- c-Yerüstü suları
- d-Yeraltı suları
- e-Güneş enerjisi
- f-Jeotermal enerji
- g-Artık ısı kaynağı

2. İşletme Çevrimlerine Göre

- a-Hava-hava
- b-Hava-su
- c-Su-su

3. Termodinamik Çevrimlerine Göre

- a-Termoelektrik
- b-Absorbsiyonlu
- c-Buhar sıkıştırmalı

Bunlardan önemli olanlarından bazılarını kısaca açıklayalım :

1.3.2. Isı kaynaklarına göre Isı Pompalarının Çeşitleri

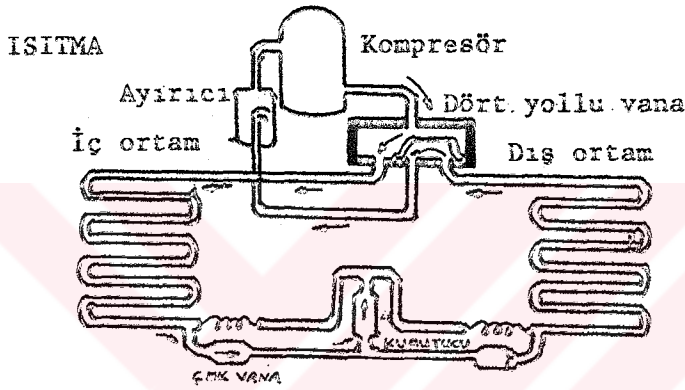
a-Hava

Düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı olarak havayı kullanan sistemler, havanın herhangi bir yerde ve zamanda kolaylıkla bulunması nedeniyle oldukça kullanışlıdır. Ancak hava sıcaklığının kışın düşük olması nedeniyle dış ortam serpantinlerinin karlanması söz konusu olmaktadır. Buharlaşma sıcaklığı ile dış ortam havası arasındaki sıcaklık farkının $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ ve dış ortam hava sıcaklığının $3^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$ olması halinde, ısı pompası buharlaştırıcısında herhangi bir karlanma oluşmaz. Karlanma, dış ortam sıcaklığının 2°C nin altına düşmesi ile oluşur. Bu nedenle $2/-7^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığı ısı pompaları için en tehlikeli aralıktır. Karlanma zamanla buza dönüşür ve dış serpantin kanatçıkları arasının tıkanmasına neden olur. Bu durumda saatte 3-4 kez defrost gerekebilir. Sıcaklığın -7°C den aşağı düşmesi durumunda, kuru soğuk kış havasında düşük miktarda nem bulunduğundan sistem birkaç gün defrost yapmadan çalışabilir. Havayı ısı kaynağı olarak kullanan sistemlerde hava debisi yaklaşık $1200 \text{ m}^3/\text{hr}$ düzeyinde olmalıdır.

Havayı ısı kaynağı olarak kullanan(Şek. 1.11) ısı pompası sisteminin ısıtma amacıyla çalışması :

Soğutucu akışkan evaporatörde (dış ortam serpantinleri) buharlaşırken dış ortamdaki buharlaşma ısısını alır. Isınan gaz dört yönlü vana ile geçerek kompresöre gider. Burada sıkıştırılarak sıcaklığı daha da artar. Kompresörde sıkıştırılarak sıcaklığı daha da artan gaz yoğunlaştırıcıda (iç ortam serpantinleri) yoğunlaşarak ısısını iç ortama verir. Sıvı haldeki soğutucu akışkanın basıncı genişleme vanası ile düşürülür. Daha sonra evaporatöre gider. Böylece çevrim tekrarlanır.

Soğutma durumunda ise dört yönlü vananın akış yolu değiştirilip, sıcak gazın dış serpantinlere gitmesi sağlanır. Böylece aynı sistemde iç ortam gerektiği zaman ısıtılmakta gerektiğinde de soğutulmaktadır.



Şekil.1.11. Dört yönlü vanalı ısı pompası

b-Yerüstü suları

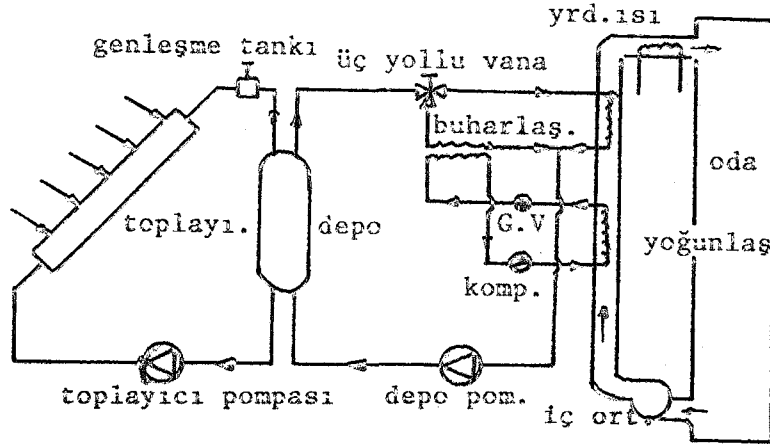
Su, ısı kapasitesinin yüksek olması nedeniyle ısı pompaları için havadan daha çok tercih edilen bir ısı kaynağıdır. Nehir, göl ve deniz ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak korozyon, yosun tutma gibi mahsurlar ısı transferini güçleştirmektedir.

c-Güneş enerjisi

Güneş ışınlarının ısı pompası kaynağı olarak kullanılmasının en büyük üstünlüğü, ısıyı daha yüksek sıcaklıklarda verebilmesi ve bunu bağlı olarak yüksek COP değerinin elde edilmesidir.

Güneş enerjisi ısı kaynaklı ısı pompaları paralel ve seri olmak üzere iki tipte olabilir. Şek. 1.12 de verilen paralel sistemde ısı pompası havayı ısıtırken, güneş enerjisi ile ısıtılan suda havanın ısıtılmasına yardımcı olur. Isı pompasının yoğunlaştırıcısı hava kanalına yerleştirilerek, oda havasının ısıtılması sağlanır. Bu erada güneş enerjisi toplayıcısından gelen

sıcak su, termostat kontrolü ile kanala verilir. Böylelikle hava, güneşli günlerde daha düşük enerji gideri ile ısıtılmış olur.



Şekil.1.12. Paralel güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası sistemi

1.3.3. İşletme Çevrimlerine Göre Isı Pompalarının Çeşitleri

a-Hava-Hava Isı Pompaları

Bu tip ısı pompalarında yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcıda ısı hava ile taşınır. Eğer ısı pompası iklimlendirme için kullanılacaksa ısıtılan veya soğutulan hava, doğrudan ortama gönderilir. Hava-hava ısı pompaları paket tipi ısı pompaları için oldukça uygundur.

b-Hava-Su Isı Pompaları

Bu sistemde işletme çevriminde kullanılan ısı taşıyıcı akışkan olarak hem hava hem su kullanılır. Isı kaynağının hava olması durumuna soğuk hava depoları verilebilir.

c-Su-Su Isı Pompaları

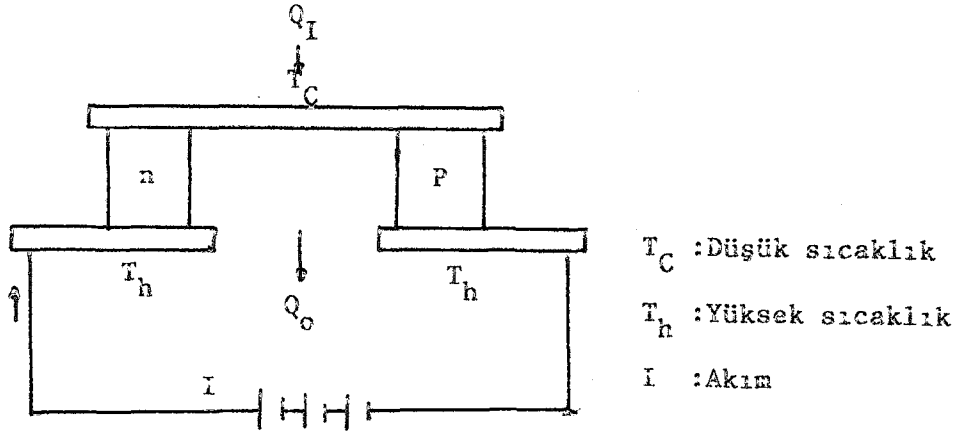
Hem ısı kaynağı hemde ısıyı taşıyan akışkan olarak suyu kullanan sistemlerdir. İlk yatırım maliyetleri gövde boru tip ısı değiştiricilerinden dolayı yüksektir. Suyun ısı transfer yeteneğinin yüksek olması nedeni ile oldukça kullanışlıdır.

1.3.4. Termodinamik Çevrimlerine Göre Isı Pompalarının Çevrimleri

a-Termoelektrik Isı Pompaları

"Peltier Etkisi" ilkesini kullanarak çalışan ısı pompalarıdır. Termo elemanların (thermo-couple) tam tersi bir sistemle çalışır. (Şek.1.13). Temel ilkesi iki ayrı iletkenin birleşim noktalarının, elektrik akımının

yönüne göre sıcak veya soğuk olmasına dayanır.Hareketli parçasının olmaması,aşınma,ses ve bakım problemlerini ortadan kaldırmıştır.Sıfır yer çe-



Şekil.1.13. Termoelektrik ısı pompası

kiminde veya yerçekiminin birkeç katında herhangi bir düzlemde kolaylıkla çalışabilmelerinden dolayı uzay programlarında tercih edilmektedirler.

b-Absorbsiyonlu Isı Pompaları

Absorbsiyonlu sisteme en klasik örnek eskiden kullanılan "elektrolux buzdolaplarıüddür.Klasik soğutma devresinde kullanılan yoğunlaştırıcı buharlaştırıcı ve genleşme vanası absorbsiyonlu sistemde de vardır.Kompresör yerine ise absorber,çözelti pompası,üreteç ve basınç düşürücü vana bulunmaktadır.

Absorbsiyonlu sistemlerde NH_3 -SU karışımı öteden beri oldukça başarılı olarak kullanılmaktadır.Ev tipi klima cihazlarında,ısı kaynağı sıcaklığının $0^{\circ}C$ den yüksek olması durumunda Lidymbromür-Su karışımı sıkça kullanılır.

c-Buhar Sıkıştırımalı Isı Pompaları

Günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan,ana elemanları kompresör, buharlaştırıcı,yoğunlaştırıcı ve genleşme vanası olan sistemdir.Genel ilkesi soğutucu olarak kullanılan akışkanın sıvı fazdan buhar faza geçerken gerekli olan ısıyı düşük sıcaklıktan alıp buhar fazından sıvı faza geçerken vermesi gereken ısıyı yüksek sıcaklıkta atmasıdır.Buna örnek deneysel çalışmalarımızda kullanılan ısı pompası verilebilir.(Şek.2.1.).

1.4. Isı Pompalarında Kullanılan Isı Taşıyıcı Akışkanlar

Isı pompalarında kullanılan ısı taşıyıcı akışkanlar çeşitlidir.Bunların başlıcaları,kükürt dioksit,etil klorür,metil klorür,amonyak,karbondioksit,bütan,izobütan,propan ve freon gurubu gazlardır.Freon gurubu gazlardan ençok kullanılanlar F-11,F-12,F-22 ve F-113 dir.Isı taşıyıcı akışkanlarda aranan özellikler :

- 1- Ucuz olmalıdır
- 2- Su ve hava ile reaksiyona girip sisteme zararlı olacak gaz yada asit oluşturmamalıdır.
- 3- Sistemin herhangi bir yerinden sızıntı yapınca kolayca anlaşılabilir melidir.
- 4- Zehirli ve kötü kokulu olmamalıdır.
- 5- Yanıcı ve patlayıcı olmamalıdır.
- 6- Kompresördeki yağlama yağının özelliklerini değiştirmemelidir.
- 7- Sistemde akarken kimyasal yapısı bozulmamalıdır.
- 8- İmalat malzemelerine karşı korozif olmamalıdır.
- 9- Sıkıştırma oranı düşük olmalıdır.
- 10- Özgül hacmi küçük olmalıdır.
- 11- Buharlaşma gizli ısısı yüksek olmalıdır.
- 12- Kritik sıcaklık ve basınç yüksek olmalıdır.
- 13- Atmosfer basıncında düşük sıcaklıklarda buharlaşabilmelidir.
- 14- Yoğunlaşma basıncı ve buna bağlı olarak sıcaklığı yüksek olmalıdır.

Yukarıda sıralanmış olan özellikler,soğutucu akışkan olarak kullanılacak maddeleri kısıtlamaktadır.Bu amaç için kullanılacak bazı maddeler çeşitli özellikleriyle Tablo.1.1. de verilmiştir.

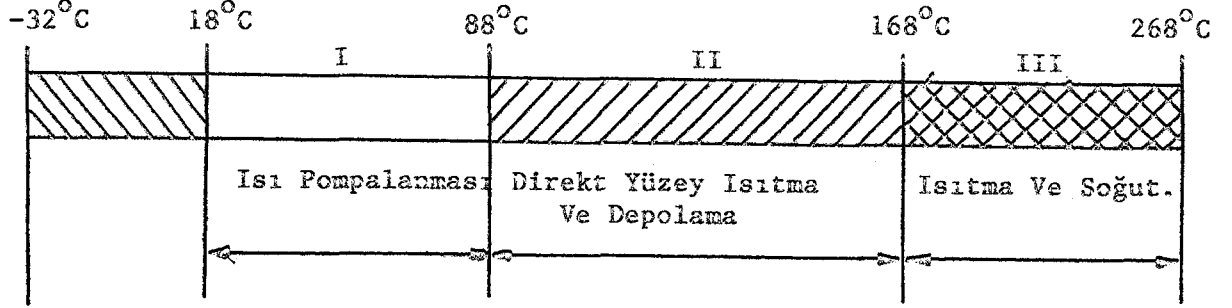
Tablo. I.1. Isı Pompalarında Soğutucu Akışkan Olarak Kullanılabilecek Bazı Kimyasal Maddelerin Teknik Özellikleri

No	İsim	Evap. Bas. bar	Kon. Bas. bar	Sıkıştır. oranı	Soğ. Etk. KJ/Kg	Ölç. Soğ. hac. gt/sn	Emme hac. m ³ /sn	Komp. Süp. Şaft gücü m ³ /s*10 ⁻³ kW	COP	Bos. Sı. T. °C
170	Etan	16.3	46.6	2.86	136	25.8	0.033	0.86	2.41	50
13B1	Bromotriflorometan	5.38	18.0	3.36	68	51.9	0.024	1.24	4.25	51
1270	Propilen	3.56	12.5	3.51	402	8.3	0.163	1.43	4.51	42
290	Propan	2.89	10.7	3.70	281	12.5	0.155	1.93	4.58	36
502	22/115 Azeotrop	3.49	13.1	3.75	106	33.1	0.051	1.70	4.37	37
22	Klorodiflorometan	2.95	11.9	4.03	163	21.6	0.077	1.68	4.66	53
115	Kloropentafloroetan	2.66	10.4	3.89	68	52.0	0.048	2.50	4.02	30
717	Amonyak	2.36	11.7	4.94	1103	3.2	0.509	1.62	4.76	99
500	12/152 a Azeotrop	2.14	8.79	4.12	141	24.9	0.094	2.34	4.65	41
12	Diklorodiflorometan	1.82	7.44	4.08	116	30.2	0.091	2.75	4.70	38
40	Metil Klorür	1.46	6.53	4.48	349	10.0	0.28	2.81	4.90	78
764	Kükürt dioksit	0.81	4.58	5.63	329	10.7	0.40	4.29	4.87	88
600	Bütan	0.57	2.85	5.07	299	11.8	0.62	7.32	4.95	31
114	Diklorotetrafloroetan	0.47	2.53	5.42	100	35.1	0.27	9.50	4.49	30
21	Dikloroflorometan	0.36	2.15	5.96	208	16.9	0.57	9.64	5.01	61
160	Etilklorür	0.32	1.86	5.83	331	11.0	1.07	11.7	5.21	41
631	Etilamin	0.23	1.70	7.40	525	6.7	2.02	18.3	5.52	-
11	Trikloroflorometan	0.21	1.25	6.19	155	22.6	0.76	17.2	5.03	44
610	Etil Eter	0.10	0.85	8.20	294	11.9	2.18	26.1	5.74	-
30	Metilen klorür	0.081	0.69	8.60	313	11.3	3.12	35.1	4.90	96
113	Triklorotrifloroetan	0.071	0.54	8.02	125	28.2	1.71	48.2	4.84	30
1130	Dikloroetilen	0.058	0.48	8.42	266	13.2	3.97	52.5	4.83	-
1120	Trikloroetilen	0.014	0.13	11.65	213	16.5	14.32	237	3.82	-

1.5.1. Isı Pompalarının Ekonomisi

Isı pompaları ekonomik olarak ilgi çekici durumdadırlar. Isı kaynakları oldukça fazladır. Ancak, önemli olan bu ısı kaynaklarından en ekonomik olanı seçmektir. Bu konuda detaylı bilgi ASHRAE seminerinde sunulmuştur.

Ekonomik bir prosesin seçiminden önce, çeşitli ısı kaynaklarının hangi sıcaklıklarda olduğu ve en ekonomik olarak ısının hangi sıcaklıklarda pompalanabileceği tespit edilmelidir. Çizelge.1`de bu durum özetlenmiştir.



Çizelge.1. Kullanılabilir sıcaklıklar

Bu çizelgede, kullanılacak çeşitli sıcaklık aralıkları gösterilmiştir. Kullanılabilir sıcaklık aralığı en yüksek sıcaklık aralığıdır. Düşük sıcaklıkta ısı pompalanarak ısıtma ve soğutmada yararlanılır. Çizelgede görüldüğü gibi optimum sıcaklıklar 168°C-268°C arasındaki sıcaklıklardır. Bu sıcaklıklar ısı pompalanmasına gerek duymazlar ve ekonomiktirler. 18°C-88°C aralığındaki sıcaklıklar ısı pompalarıyla pompalanarak ısıtma amacı ile kullanılacak sıcaklığa yükseltilebilirler. (Boggarm, 1979)

88°C üzerindeki II ve III bantları ise ısıtma ve soğutmada direkt olarak kullanılabilirler. Isı pompalarında kullanılacak pekçok ısı kaynağı vardır. Bunların seçimi yapılmadan önce enerji ve maliyet hesapları iyice araştırılarak en ekonomik olanı seçilir. Isı pompalarındaki ısı kaynağı analizi çok önemlidir ve aşağıdaki kriterlere göre yapılır :

- 1-Ek yatırım maliyeti
- 2-İşletme maliyeti
- 3-Kullanılacak ısı kaynağının kararlılığı
- 4-Gerekli ısı ile kaynaktan sağlanan ısı arasındaki blanço
- 5-Sistemin binalara uygulanabilirliği ve kullanılacak malzemenin sisteme uygunluğu
- 6-Isı pompasının yıllık maliyeti ile diğer ısıtma sistemlerinin maliyetlerinin karşılaştırılması

1.5.2 Maliyet Hesabı

Isı pompalanması için kaynak seçimi,yatırım ve işletme masrafları ile ilgili detaylı maliyet hesaplarını gerektirir.Isı pompalanması için çeşitli mekanik kaynaklar birleştirilip kombine bir sistem elde edilir.

Ek yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri aşağıdaki maddeleri ihtiva etmektedir :

a-Kontrol aletlerinin işletme maliyetleri ve ısı pompalama sisteminin çalışmasını sağlayacak diğer cihazların maliyetleri.

b-Vantilatör,pompa gibi aletlerin çalışma maliyetleri.

c-Isı pompalanmasının yıllık maliyeti ile ilgili olan enerji,bakım ve diğer harcamalar

Yıllık maliyet şu formülle hesaplanabilir : (Boggarm, 1979)

$$AC = C_i + EC_E + C_M + C_L \quad (1)$$

burada, AC : Isı pompalanmasının yıllık maliyeti

C : Sistemin yatırım maliyeti

i : Yatırımların gelir ve amortismanı

E : Isı pompalanması için yıllık enerji sarfiyatı

C_E : Birim güç maliyeti

C_M : Yıllık bakım maliyeti

C_L : Birim işçi maliyeti

Isı kaynağına ve kullanılan mekanik sistemlerin özelliğine bağlı olarak enerjinin bir kısmı sisteme harcanır.Sistem her kaynağın enerjisini minimum kullanacak şekilde tasarımılanır.

Isı pompasının kullanacağı enerji matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir : (Boggarm, 1979)

$$Q_H = \sum Q_{AE} * HRF \quad (2)$$

burada, Q_H : Yıllık pompalanan ısı enerjisi

Q_{AE} : Isı pompalanması için kullanılabilecek düşük düzeydeki enerji

HRF : Isı geri kazanma faktörü

(1) ve (2) eşitliğinden ısı pompalanmasının milyon KJ deki enerji maliyeti aşağıdaki formülle bulunabilir : (Boggarm, 1979)

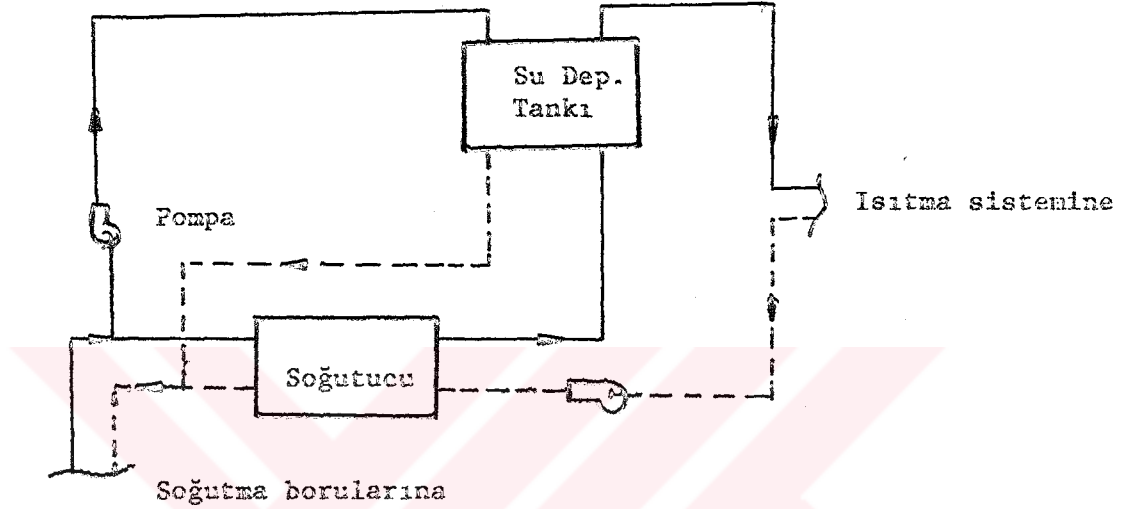
$$\text{Maliyet/Milyon KJ} = \frac{AC * 10^6}{Q_H} \quad (3)$$

1.5.3. Ekonomi hesabı

Isı pompalanmasında kullanılacak kaynak ekonomik olmalıdır.

1-İç Isı

Bu ısı yıl boyunca endüstriyel ve ticari amaçlı çalışmalarda kullanılır. Güneş ışınlarından elde edilebilen az miktardaki ısı insanlar tarafından ısıtma işleminde direkt olarak kullanılamaz. Bu düşük enerji ısı pompaları sayesinde daha kullanışlı sıcaklıklara yükseltilebilir. İç ısının şematik olarak görünüşü Şekil.1.14 de verilmiştir.



Şekil.1.14. İç ısı

Isı pompasının geliştirilmiş türleri klasik sistemlerden daha ucuz mal edilebilir. Yüksek yoğunlaştırma sıcaklığındaki bir soğutucu ve izolasyonu iyi yapılmış bir depolama tankında depolanan enerji sayesinde ısıtma gerçekleştirilebilir. Soğutucu-yoğunlaştırıcı çalışmalarının sırası gerektiğinde denetimli olarak değiştirilerek, ısı pompalanması istenilen yöne çevrilebilir. Isı pompalanması sırasında yoğunlaştırıcı tank sıcaklığı 28°C ye ulaşmaya kadar kullanılabilir. Sisteme bağlı ısı deposu pompalanacak ısıyı depolama kapasitesinde olmalıdır.

Tesisatın iç ısı matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir :

$$Q_{TH} = Q_V + Q_P + Q_{INT} - ANI \text{ DEĞERLER} \quad (4)$$

Yıllık,

$$\sum Q_{TH} = \sum (Q_V + Q_P + Q_{INT}) \quad (5)$$

Isı pompasında kullanılacak yıllık düşük kaliteli ısı miktarı ;

$$Q_{N \text{ INT}} = \sum Q_{\text{INT}} - \text{HRT} \quad (6)$$

(1) ve (2) eşitliğinden enerji maliyeti,

$$\text{Maliyet/Milyon KJ} = \frac{(\text{AC})_{\text{INT}} * 10^6}{\sum (Q_{\text{H}})_{\text{INT}}} \quad (7)$$

burada,

Q_{TH} : Tesisat içindeki toplam ısı

Q_{V} : Toplam havalandırma ısısı

Q_{P} : Tesisattaki toplam çevre ısısı

Q_{INT} : Tesisatın toplam iç ısısı

$(\text{AC})_{\text{INT}}$: Klasik sistemi değiştirmek için yapılan yıllık ek masraf

$Q_{\text{H INT}}$: Yıllık pompalanan enerji

2-Güneş Enerjisi İle Isıtma

Güneş enerjisi tüm sıcaklık düzeylerinde bütün yıl boyunca kullanılabilir. Isı pompalarında güneş enerjisinin kaynak olarak seçilmesi bu enerjinin toplanacağı güneş kolektörlerine bağlıdır. Bunların sıcaklıkları 38°C - 98°C olduğundan bu kaynakla çalışan ısı pompaları ucuza mal edilir ve verimi fazladır.

Güneş enerjisinden yararlanılması için gerekli sistemin yatırım ve gelişim masrafları fazladır. Bunlar güneş kolektörleri başta olmak üzere depo tankı, pompalar, bağlayıcı borular ve tanklardaki ısı değiştirici masraflarıdır. Bu enerjinin kullanımını etkileyen pek çok değişken vardır. Bunlar yapı malzemeleri, sistemin izolasyonu, toplayıcı ve depolardaki ısı kayıplarıdır. Güneş kolektörleriyle yıllık en fazla 36°C - 98°C arasında ısı toplanabilir. Toplam yıllık güneş enerjisi ;

$$Q_{\text{C}} - Q_{\text{L}} = \sum (Q_{\text{AE}})_{\text{solar}} \quad (8)$$

burada, Q_{C} : Güneş kolektörleri tarafından birim zamanda toplanan enerji

Q_{L} : Dağıtma sisteminde ortaya çıkan toplam ısı kayıpları

Q_{AE} : Isı pompalanması için mümkün olan yıllık güneş enerjisi

Güneş enerjisi ile çalışan ısı pompalarında elde edilebilecek toplam enerji aşağıdaki şekilde hesaplanabilir :

$$(Q_H)_{\text{solar}} = \sum Q_{(AE)_{\text{solar}}} * \text{HRF} \quad (9)$$

burada, $(Q_H)_{\text{solar}}$: Yıllık pompalanan ısı enerjisi

$\sum Q_{(AE)_s}$: Isı pompalanması için kullanılabilir düşük düzeydeki enerji

HRF : Isı geri kazanma faktörü

(1) ve (2) eşitliğinden enerji maliyeti ;

$$\text{Maliyet/Milyon KJ} = \frac{(AC)_s * 10^6}{(Q_H)_s} \quad (10)$$

$(AC)_s$: Güneş enerjisiyle ısı pompalamanın yıllık maliyeti

3-Artık Isı

Fabrika ve ticari işletmelerde yapılan işe,mevsime ve yararlanılan kaynaklara göre artık ısı üretilir.Artık ısı egzoz gazlarında,baca gazlarında,atılan sıcak sularda v.b vardır.Kazan artıklarının sıcaklığı yüksektir ve ısı pompalarına gerek duyulmadan kullanılabilirler.Bazı durumlarda ise artıklar doğrudan kullanılabilir sıcaklıkta olmayabilirler.Örneğin, pis suların sıcaklığı $8^{\circ}\text{C} - 88^{\circ}\text{C}$ dir ve ısı pompası için kullanılmazlar. Bu kaynağın kullanılabilmesi için ısı pompasına bağlı depolama tankının pis su ayırma sistemi ve ısı değiştirici kısmı olmalıdır.Teknik yönden mümkün olan bu sistem pek ekonomik değildir.Havalandırmadan (vantilatörle) da artık ısı elde edilebilir.

Isı pompasında kullanılabilen ekzos artık ısıyı şöyle ifade edilebilir :

$$\sum Q_{HE} = \sum Q_{EV} * \text{HRF} \quad (11)$$

burada, Q_{EV} : Isı pompasında kullanılabilir ekzos gazının ısısı

(1) ve (2) eşitliğinden ısı pompalanmasının milyon KJ deki enerji maliyeti aşağıdaki şekilde bulunabilir :

$$\text{Maliyet/Milyon KJ} = \frac{AC_E * 10^6}{\sum (Q_H)_E} \quad (12)$$

BÖLÜM 2

DENEYSEL KISIM

2.1. Kullanılan Maddeler

Kalsiyum Klorür Dihidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) :

Merk ürünü olup %99 saflıkta idi. Merk ürünü olduğundan iki mol su içerip içermediği ayrıca kontrol edilmedi. Gerekli miktarda suda çözüp kristallendirilerek kalsiyum klorür heksahidrat haline getirilip kullanıldı.

Sodyum Karbonat (Na_2CO_3) :

Merk ürünü olan bu madde susuz olup %99 saflıkta idi. Gerekli miktarda suda çözüp kristallendirilerek sodyum karbonat deka hidrat haline getirilip kullanıldı.

Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) :

Merk ürünü olan bu madde susuz olup saflığı %99 idi. Yeterli miktarda suda çözüp kristallendirilerek sodyum sülfat dekahidrat haline getirilip kullanıldı.

Disodyum Fosfat Heptahidrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) :

Merk ürünü olup saflığı %98.8 idi. Uygun miktarda suda çözüp kristallendirilerek disodyum fosfat dodekahidrat haline getirilip kullanıldı.

Borax (sodyum tetraborat dekahidrat) :

Merk ürünü olup %98 saflıkta idi. Alındığı gibi kullanıldı.

Stronsiyum Klorür Heksahidrat ($\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) :

Merk ürünü olup %99.9 saflıkta idi. Alındığı gibi kullanıldı.

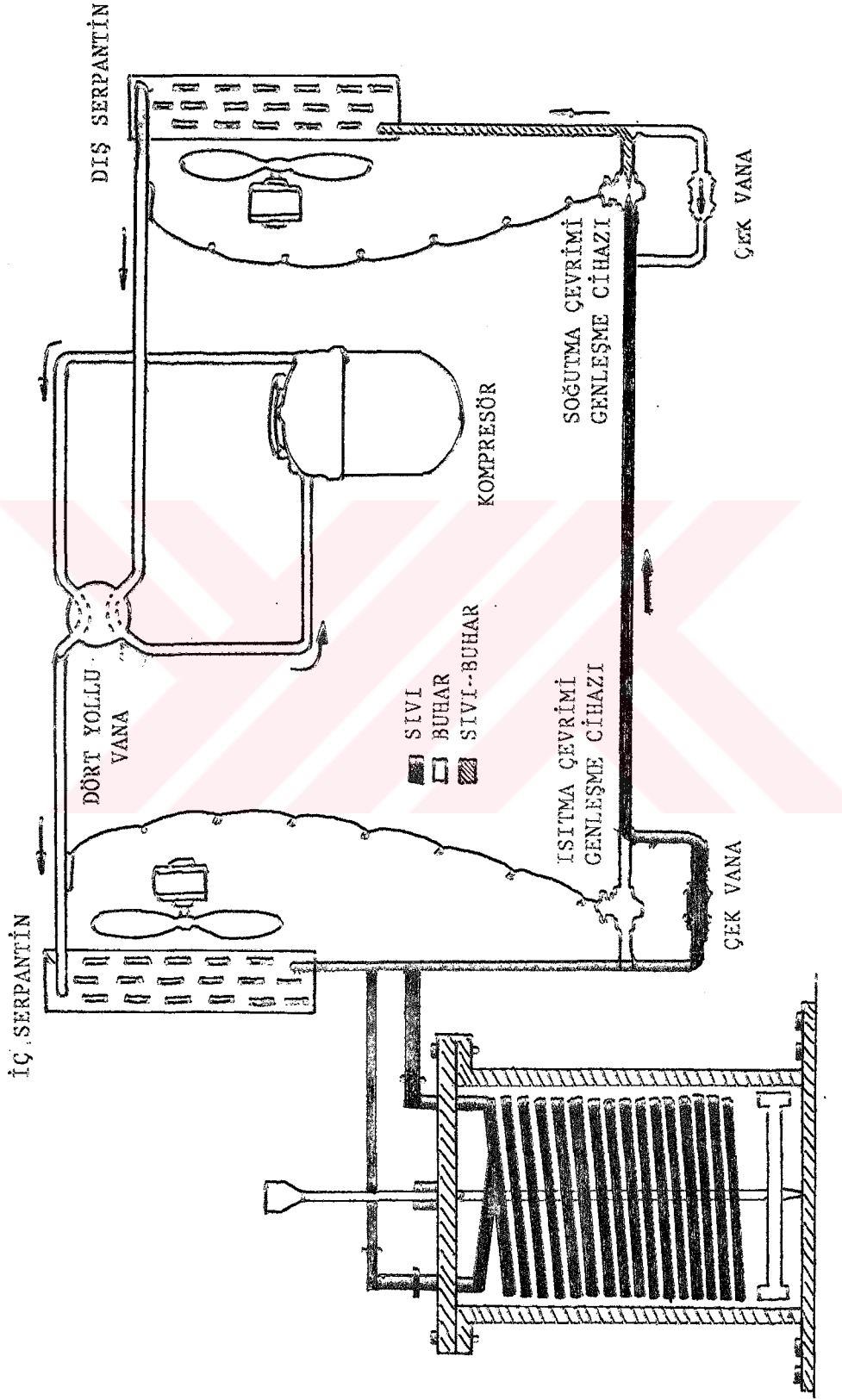
Magnezyum Klorür Dihidrat ($\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) :

Merk ürünü idi. Saflığı %99.8 olup alındığı gibi kullanıldı.

2.2. Kullanılan Aletler

Isı Pompası :

Özel bir firmaya sipariş verilerek yaptırılan cihazın boyutları 0.95 m * 0.80 m * 1.25 m dir. Cihaz şematik olarak Şekil.2.1 de görülmektedir. 2 HP gücünde olup hem ısıtma hem soğutma yapabilmektedir.



Şekil.2.1.1. Isı pompası ve pompaya monte edilen deponun şematik olarak görünüşü

Diğer teknik özellikleri :

Elektrik	: 220 volt
Evaporasyon	: 0°C
Kondenzasyon	: 55°C
Vantilatör	: 1100 m ³ hava/hr
Çalışma standart alt sınırı	: 10°C
Çalışma standart üst sınırı	: 45°C
Sıcaklık farkı	: 10°C

Depolama Kabı :

Hacmi 6 l olup ısı pompasına bağlanmıştır.İçinden ısı pompasının devridaim sıvısı helezon şeklindeki bakır boru yardımıyla dolandırılmaktadır.Cihaz yeterli miktarda yalıtım maddesi ile yalıtılmıştır.Ayrıca birde karıştırıcısı vardır.

Termoelemanlar :

Sıcaklık ölçümünde Bakır-Konstantan çifti kullanılmıştır.

Haake F3 Marka Sabit Sıcaklık Banyosu :

Termoelemanların kalibrasyonunda sabit sıcaklık kaynağı olarak kullanılmıştır.Sıcaklığı ayarlamak için termostat ı vardır.

Haake F2 marka Sirkülasyonlu Sabit Sıcaklık Banyosu :

Sirkülasyonu sağlamak için bir sirkülasyon pompası vardır.Tuz hidratların ısı depolama kapasitelerini belirleme deneyinde reaktöre sabit sıcaklıkta sürekli su sağlamak için kullanılmıştır(Şekil.2.2).

Karıştırıcı motoru :

Devir sayısı ayarlanabilmekte olup elektrik enerjisiyle çalışmaktadır.

Thurlby 1905 a Marka Digital Multimetre :

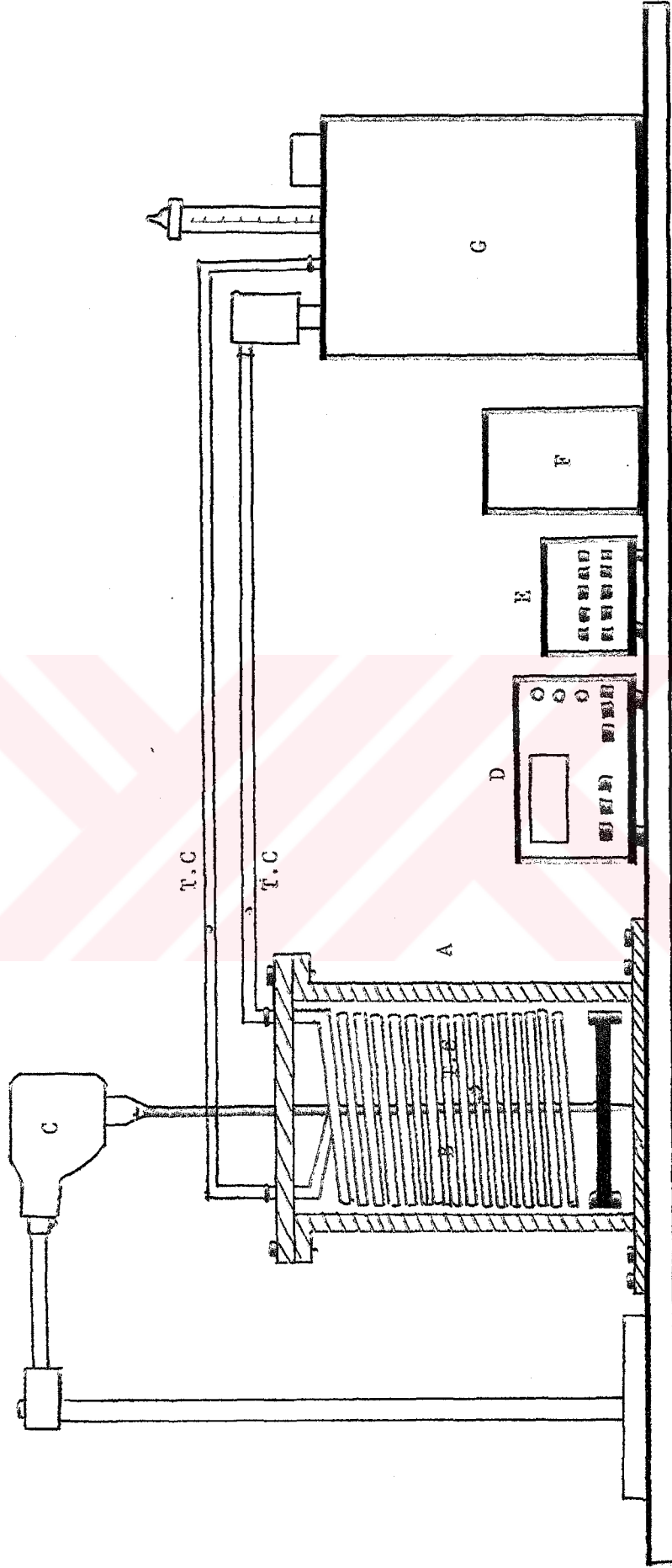
Deneylerde termoelemanlar yardımıyla sıcaklıkları ölçmek için kullanıldı.Bu cihazla aynı anda pekçok noktadan (onsekiz nokta) ölçümler yapılabilmektedir.

Reaktör :

Tuz hidratların ısı depolama kapasiteleri bu cihazda tayin edildi. Hacmi 1.2 l olup içinde ısı değiştirici olarak spirallik bakır boru bulunmaktadır.Ayrıca bir karıştırıcıya sahiptir.(Şekil.2.2)

İzolasyon Maddesi :

Cam yünü olup sistemi yalıtım için kullanılmıştır.



Şekil.2.2. Tuz hidratların ısı depolama kapasitelerinin tayin edildiği deney düzeniği; G : Sirkül. sbr. sıcak. banyosu
A : Reaktör; B : Isı değiştirici; C : Karıştırıcı; D : dijital mult. metre; E : Okuyucu tuşları; F : Buz banyosu.

2.3. Deneylerin Yapılışı

2.3.1. Kalsiyum Klorür Hekzahidrat Oluşumunun Sağlanması

Kalsiyum klorürün ısı depolama amacıyla kullanılan ve düşük erime noktasına sahip iki hidrat şekli vardır. Bunlardan biri kalsiyum klorür tetrahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), diğeri ise kalsiyum klorür hekzahidrattır ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Bunlardan hekzahidratın ısı depolama kapasitesi tetrahidrata göre daha fazladır. Dolayısıyla kalsiyum klorürden hidrat şekli hazırlanırken tetrahidrat oluşumu yerine hekzahidrat oluşumu tercih edilir. Bunu sağlamak için tetrahidratın çözünürlüğünü artırıp, hekzahidratın çözünürlüğünü azaltmak gerekir ki hekzahidratın oluşumu sağlanabilsin. Bunun için uygun bir çekirdekleştiricinin seçilmesi gerekir. Literatürde kalsiyum gurubu elementlerinin klorür yada hidroksitlerinin bu amaç için kullanılabileceği belirtilmiştir (Telkes, 1952) bellir çekirdekleştirme vasıtası verilmemiştir. Bu noktadan hareket ederek kalsiyum, magnezyum ve stronsiyumun klorür ve hidroksitleriyle bir çalışma yapıldı. Bunun için kalsiyum hidroksit, magnezyum hidroksit, magnezyum klorür ve stronsiyum klorür hekzahidrat ile çeşitli oranlarda denemeler yapılmıştır. Belirli miktarlarda (örneğin %3, %5 v.b) tartılan bu maddeler çekirdekleştirici olarak kullanılarak pekçok kalsiyum klorür hekzahidrat hazırlanmıştır. Yapılan denemeler sonunda çekirdekleştirici olarak, hazırlanan kalsiyum klorür hekzahidratın ağırlığının %2-3 kadar $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanmanın hekzahidrat oluşumunu diğerlerine göre daha iyi sağladığı gözlenmiştir.

2.3.2. Tuz Hidratların Hazırlanması

Deneyisel çalışmalarda düşük erime noktasına sahip dört adet tuz hidrat kullanıldı. Bunlar kalsiyum klorür hekzahidrat, sodyum karbonat dekahidrat, sodyum sülfat dekahidrat ve disodyum fosfat dodekahidrat dır.

Kalsiyum klorür, dihidrat şeklinde merk ürünü idi. Bunu gerekli miktarda (1 mol $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ya 4 mol H_2O) suda çözüp içine çekirdekleştirici olarak bir önceki deneyde tespit edilen $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan ağırlıkça %2-3 oranında ilave edilip kristallenmeye bırakıldı. Daha sonra, oluşan kalsiyum klorür hekzahidrat deneyisel çalışmada kullanıldı. Burada oluşan kristalin gerçekten kalsiyum klorür hekzahidrat olduğunu anlamak için bir deneme yapılmıştır. Bunun için 0.1 mol $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ alınıp önceden sıcaklığı ayarlanan (500°C) etüve konmuştur (1.5-2 saat). Amaç tamamen kristal suyunu uçurmaktır. Etüvden çıkarılan madde tartıldı ve susuz miktarın ne kadar olduğu tespit edildi. Böylece iki tartım arasındaki farktan uzaklaşan kristal suyu miktarı hesaplanmıştır. Bu deney hazırlanan diğer tuz hidratlarada uygulanarak gerçekten istenen miktarda hidrat içerip içermedikleri tespit edilmiştir.

Merk ürün olan susuz sodyum sülfat alınıp gerekli miktarda (1 mol Na_2SO_4 için 10 mol H_2O) suda çözüldü. İçine kristallendirici olarak literatürde Telkes (1974) tarafından önerilen Borax'tan ağırlıkça %3-4 oranında katıp kristallenmeye bırakıldı. Daha sonra oluşan sodyum sülfat dekahidrat deneysel çalışmada kullanıldı.

Sodyum karbonatın susuz şekildeki bir molünü yeterli miktarda (on mol) suda çözerek kristallenmeye bırakıldı. Oluşan sodyum karbonat dekahidrat % 37 Na_2CO_3 ve % 67 H_2O içermektedir. Madde deneylerde bu şekilde kullanıldı.

Disodyum fosfat heptahidrat yeterli miktarda (1 mol $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ için 5 mol H_2O) suda çözünerek kristallenmeye bırakıldı. Oluşan disodyum fosfat dodekahidrat deneysel çalışmada kullanıldı.

2.3.3. Termoelemanların Kalibrasyonu

Termoelemanlar kullanılmadan önce kalibre edilmeleri gerekir. Yani ölçtüğü akımın (bu mV, amper v.b olabilir) hangi sıcaklığa karşı geldiği bilinmelidir. Bunun için termoelemanın bir ucu sabit sıcaklık banyosuna, diğer ucu ise dijitalmultimetre'ye bağlandı. Ayrıca referans sıcaklık kaynağı olarak erime noktasındaki buz alınarak sisteme bağlandı. Böylece kapalı bir devre oluşmuş oldu. Sabit sıcaklık banyosunun termostat ayarı önce 20°C ye getirildi ve dijitalmultimetreden bu sıcaklıkta devreden geçen akım mV olarak okundu. Bu şekilde 10° ar derece aralıklarla sıcaklık artırılıp bunlara karşılık gelen değerler okuyucudan mV olarak okundu. Sonuçlar, sıcaklığa karşı mV olarak okunan değerler grafiğe geçirildiğinde doğru elde edildi. Doğrunun denklemini $y = ax + b$ olup en küçük kareler metodu kullanılarak $a=23.171$ ve $b=2.5894$ olarak bilgisayarla hesaplandı. Böylece denklemdaki değişken olan x 'in değeri dijitalmultimetreden okunup yerine konulduğunda bu değere karşılık gelen sıcaklık bulunmuş olur.

2.3.4. Sirkülasyonlu Sabit Sıcaklık Banyosundaki Sirküle Olan Suyun Debisinin Belirlenmesi

Tuz hidratların ısı depolama kapasitelerini tayin ederken birim zamanda sisteme su ile ne kadar ısı verildiği bilinmelidir. Sirkülasyon pompasının pompalama debisi, sistemdeki su seviyesi ve sıcaklığı sabit kaldığı sürece sabittir. Depodaki suyun seviyesi sifon tertibatı ile sabit tutularak değişik sıcaklıklarda pompa debisi tespit edildi. Reaktörün içindeki ısı değiştiricisinden geçirilen ve tuz hidratların erimesini (faz değiştirmesini) sağlayan suyun sisteme verilmiş sıcaklığı tuzun erime noktasına bağlı olarak değiştirildi. Bunun için herhangi bir

sıcaklıkta su banyosundan pompalanan suyun birim zamandaki miktarı bilinmelidir. Bu deneyde sabit sıcaklık banyosunun termostati çeşitli sıcaklıklara ayarlanıp bu sıcaklıklardaki suyun debisi ölçüldü. Örneğin termostatin sıcaklığı 25°C ye ayarlandı ve sıcaklık sabit hale gelince sirkülasyon pompasıyla beraber kronometre çalıştırıldı. Isı değiştiricisinden çıkan su bir ölçü kabında toplandı. Bu şekilde deney, sabit bir değer elde edinceye kadar tekrarlanarak suyun ısı değiştiriciden dakikadaki geçen miktarı hesaplandı. Sabit sıcaklık banyosundaki suyun miktarını sabit tutmak için bir sifon sistemi kuruldu. Böylece ısı değiştiriciden ölçü kabına ne kadar su akıyorsa sifondanda su banyosuna okadar su akmaktadır. Çeşitli sıcaklıklarda ölçülen su debileri zamana karşı grafiğe geçirildi (Şekil.2.3). Böylece istenen herhangi bir sıcaklıktaki suyun debisi kolayca grafikten okunabilmektedir.

2.3.5. Tuz Hidratların Soğuma Eğrilerinin Çizilmesi

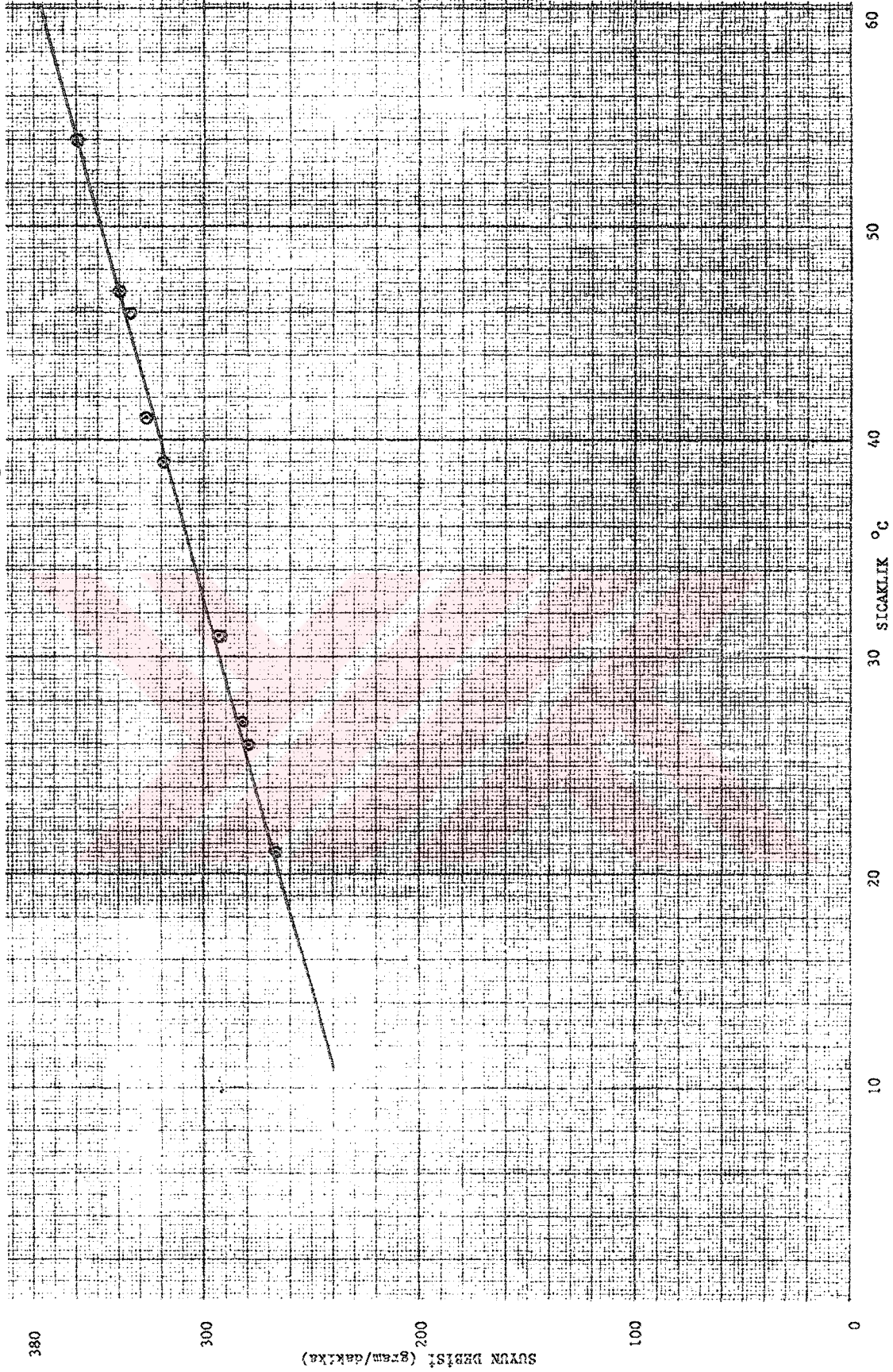
Bu deneyde $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 'ın soğuma eğrileri çizilmiştir. Deney için Şekil.2.4 de görülen düzenek kullanılmıştır. Tuz hidratlar erime noktalarının üzerindeki sıcaklıkta eritilip numüne tüpüne konularak karıştırıcıyla karıştırıldı. Belirli zaman aralıklarında sıcaklıklar termometreden ölçüldü. Bu işleme sıcaklık izlenerek sıcaklık değişiminin olmadığı sürece devam edildi. Sıcaklık düşmesi başlayınca sonlandırıldı. Zamana karşı ölçülen sıcaklıklar grafiğe geçirilerek tuz hidratın soğuma eğrisi elde edildi (Şekil.2.4.). Bu işlemin tersi yapılarak tuz hidratların ısınma eğrisi çizilmiş olur.

2.3.6. En Düşük Erime Noktasına Sahip Sodyum Sulfat-Sodyum Karbonat Karışımının Belirlenmesi

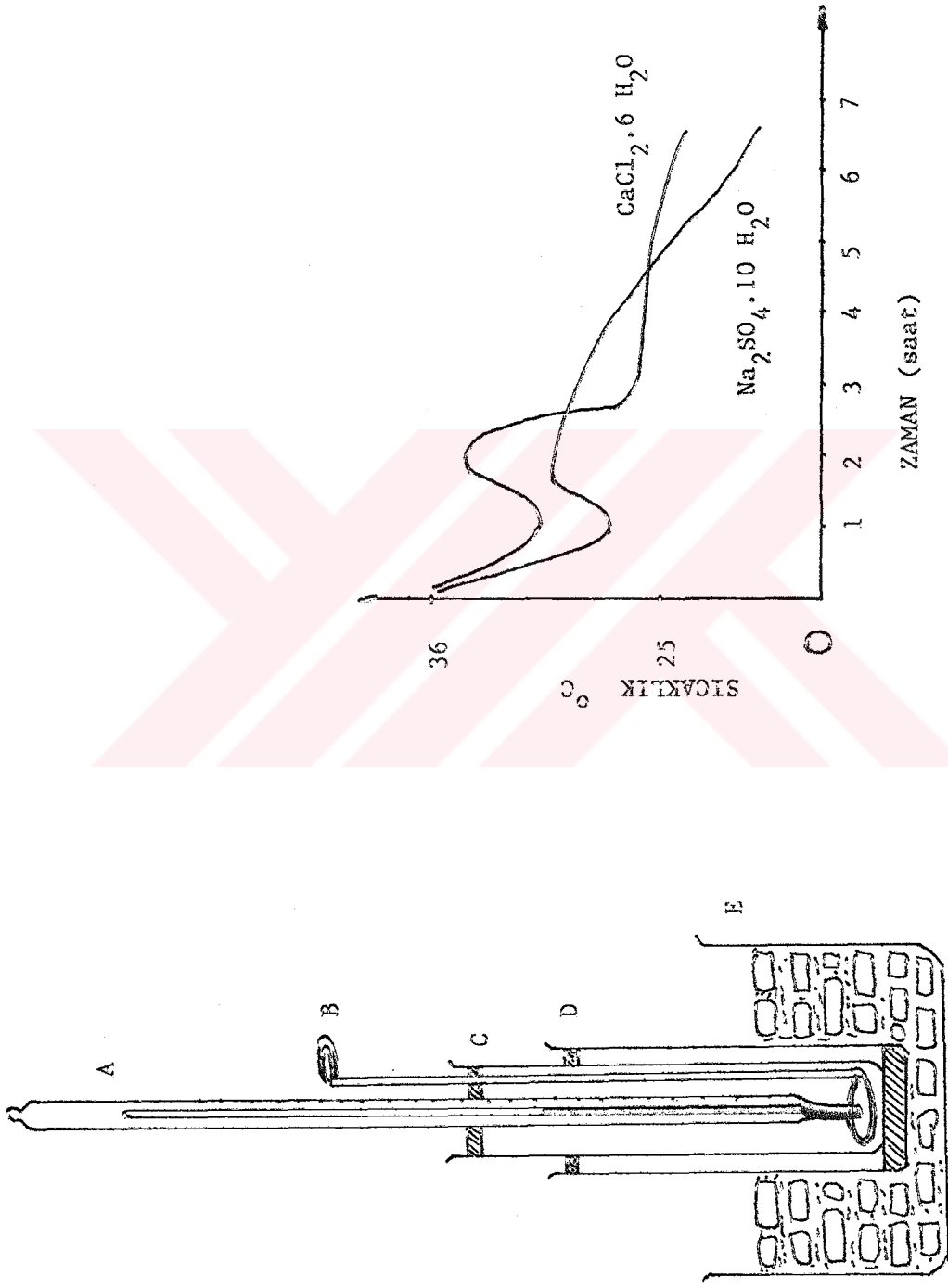
Değişik miktarlarda tuz hidratlar erimiş halde hassas bir şekilde tartılıp ayrı ayrı deney tüplerine karışım halinde konuldu. Böylece çeşitli ağırlık oranlarında tuz hidrat karışımları hazırlanıp kristallenmesi için soğuk bir ortama kondu. Daha sonra herbir tuz hidrat karışımından bir miktar alınıp saat camı üzerinde desikatöre kondular. İçerdikleri fazla miktardaki suyun uzaklaşması için desikatörde bir gün bekletildiler. Daha sonra karışım numuneleri desikatörden çıkarılıp tek tek erime noktalarına bakıldı. Ölçülen erime noktaları konsantrasyonlara karşı grafiğe geçirildi. Çizilen karışım eğrisi Şekil.2.5 de görülmektedir.

2.3.7. Korozyon Deneyi

Bu deneyde, kullanılan tuz hidratların ısı değiştirici olarak kullanılan bakır boru üzerindeki korozyon etkileri kabaca tayin edildi.

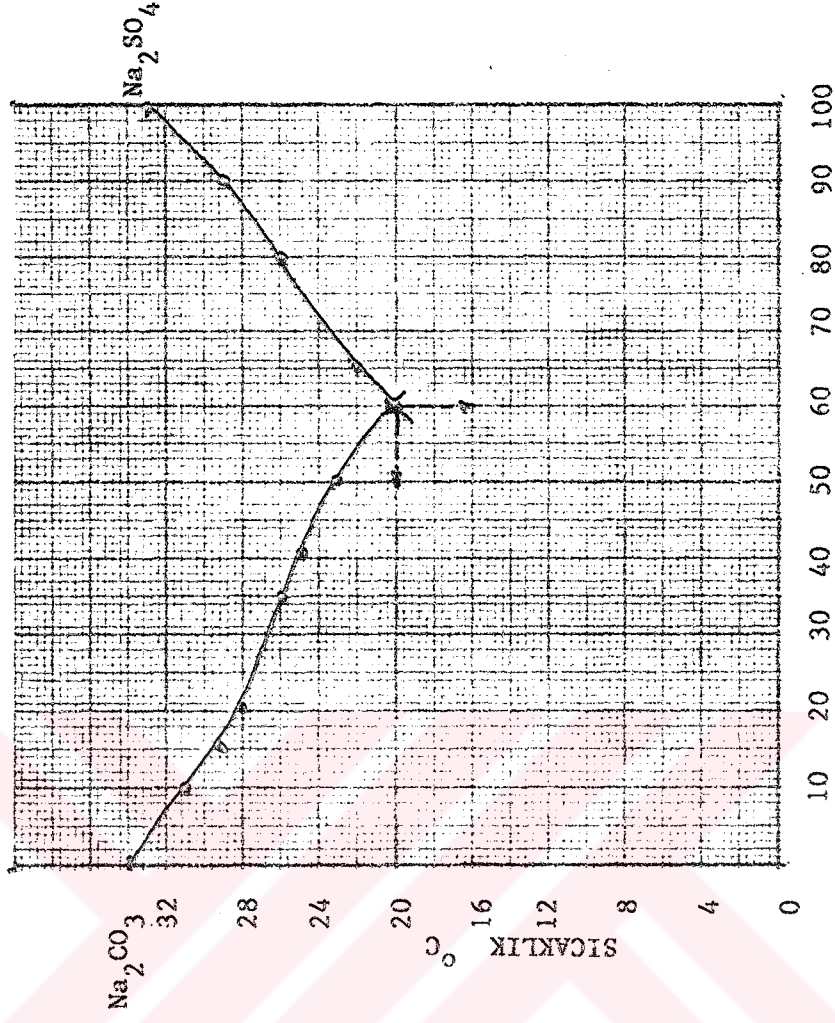


Şekil.2.3 Çeşitli sıcaklıklarda birim zamanda ısı değiştiricisinden geçen suyun debisinin okunduğu grafik



Şekil.2.4. $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ için çizilen soğuma eğrileri grafiği ve kullanılan Düzenek ; A : Termometre ; B :Karıstırıcı ; C : Nüme tüpü ; D : Hava ceketı ; E : Kristalizatuvar

% 100 Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	E.N	31--32 °C
"	"	29--30 °C
"	"	25--27 °C
"	"	22--23 °C
"	"	23--24 °C
"	"	25--26 °C
"	"	26--27 °C
"	"	28--29 °C
"	"	29--30 °C
"	"	31--32 °C



Seki.1.2.5. Sodyum Sülfat - Sodyum Karbonat Karışımının değişik konsantrasyonlardaki erime noktaları

Şüphesiz korozyon olayı başlı başına araştırılacak bir konu olup bu tezin amacı değildir.Çünkü korozyon olayına etki eden pekçok faktör vardır.Burada sadece belli zamanda belli ağırlıktaki metalin tuz hidrat içinde ne kadar madde kaybına uğradığı ölçülmüştür.

Korozyon deneyleri için 50 ml lik erlenler alınarak içlerine daha önce hazırlanan tuz hidratlar kondu.Farklı boyutlarda alınan bakır boruların yüzeyleri iyice temizlendi.Hassas bir şekilde tartılarak erlenlerin içine konuldular.Erlenlere numara verilerek hangi erleninde hangi tuz hidratın bulunduğu ve içine konan bakır borunun ağırlığının ne kadar olduğu kaydedildi.Erlenlerin ağızları mantarla iyice kepetilip deneylere başlandı.Erlenler hergün içlerindeki kimyasal maddenin erime noktasına göre sekiz saat sabit sıcaklıkta kalacak şekilde ısıtıldılar.Günün geri kalan zamanında ise madde soğuduğundan kristal halde bulunmaktadır.Böylece deneylere bir ay devam edildi.Bir ay sonra bakır borular alkol ve asetonda iyice yıkılarak daha önce tartımları yapılan terazide aynı şekilde hassas olarak tartıldılar.Böylece otuz günlük sürede bakır borularda meydana gelen kayıp bize kabaca korozyon hızını vermektedir.

2.3.8. Su İle Reaktörün Kalibrasyonu

Bu deney için Şekil.2.2 deki düzenek kullanıldı.Önce reaktöre 1150 gr su kondu.Sistemin termal dengeye gelmesi için yarım saat kadar beklendi.Daha sonra sirkülasyonlu sabit su banyosunun termostatu 55°C ye ayarlandı.Sistem çalıştırıldı ve ikişer dakika aralıklarla su girişi,su çıkışı ve reaktörün içindeki sıcaklık mV olarak dijitalmultimetreden okunup kaydedildi.Önceleri reaktördeki suyun sıcaklığı ve ısı değiştirici çıkışındaki suyun sıcaklığı sürekli değişirken,daha sonra sıcaklık değişimleri gittikçe azalmaya ve nihayet belli bir değerde sabit kalmaya başladı.Bu durum deneyin tamamlandığını göstermektedir.Çünkü artık sisteme ısı transferi olmamaktadır.Bu durumda deneye son verildi.Daha sonra suyun giriş sıcaklığı artırılarak aynı işlemler tekrarlandı.Yine sıcaklık değişimleri sabit kalınca deneye son verildi.

2.3.9. Tuz Hidratların Isı Depolama Kapasitelerinin Belirlenmesi

Bu deney için Şekil.2.2 deki düzenek kullanıldı.Önce ısı depolama kapasitesi belirlenecek olan kimyasal madde tartılarak erimiş olarak reaktöre dolduruldu ve kristallenmesi için bir gün bekletildi.Ölçümlere başlamadan önce her deney için ,sıcaklık ölçümünde referans alınan buz banyosu

hazırlanmaktadır. Daha sonra sabit sıcaklık banyosunu sıcaklığı tuzun erime noktası üzerindeki $45^{\circ}\text{C} \pm 1$ sıcaklığa ayarlanarak deneye başlandı.

Böylece maddenin erimesi için reaktöre sürekli olarak sabit sıcaklıkta su gönderildi. İkişer dakika aralıklarla su girişi, su çıkışı ve reaktörün içindeki sıcaklıklar dijitalmultimetre den mV olarak okundu. Bu değerler 2.3.3'de açıklandığı gibi $^{\circ}\text{C}$ olarak sıcaklığa çevrildi. Deney esnasında karıştırıcı 200 dev./dk. hızla çalıştırıldı. Deneye reaktör merkezindeki sıcaklık artışı ile su çıkışı sıcaklığındaki artışın sabit kalmasına kadar devam edildi. Deney sonuna doğru bu sıcaklıklarda biraz artma gözlemlendi. Daha sonra sıcaklıklar sürekli olarak sabit kaldı. Bu durumda deneye son verildi. Aynı işlemler diğer tuz hidratlar için tekrarlandı.

2.3.10. Su ve Kalsiyum Klorür Hekzahidrat İle Isı Pompasında

Yapılan Isı Depolama Deneyi

Deneyde Şekil.2.1 de şematik olarak verilen ısı pompası ve ona bağlı olan depolama kabı kullanıldı. İlk önce deponun içine 6 Kg su dolduruldu. Sistem termik dengeye geldikten sonra termometreyle suyun sıcaklığı ölçüldü. Daha sonra ısı pompası ısıtma konumuna getirilerek çalıştırılmaya başlandı. Bu arada başlangıç zamanı kaydedildi. Depodaki suyun sıcaklığı istenen noktaya gelince bu sefer ısı pompası soğutma konumunda çalıştırılmaya başlandı. Soğutma işlemine su sıcaklığının başlangıç sıcaklığına düşmesine kadar ,yani aldığı ısıyı verinceye kadar devam edildi. Başlangıç ve bitiş zamanı kaydedilerek ısı pompası tarafından belli bir zamanda ne kadar ısıtma ve soğutmanın yapıldığı ölçüldü. Aynı deney deponun içine 10 Kg $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ konularak birkaç kez tekrarlandı. Kalsiyum klorür için ısıtma işlemine tuzun erime noktasının üst sınırına kadar ($33-34^{\circ}\text{C}$) ve soğutma işlemine de maddenin başlangıçtaki sıcaklığına düşüncüye kadar devam edildi.

BÖLÜM 3

DENEY SONUÇLARI

3.1. Tuz Hidratların Isı Depolama Kapasitelerinin Hesaplanması Sıcaklık Dağılım Grafiklerinin Çizilmesi

Kalsiyum Klorür Hekzahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) :

Bu tuz hidratın 1700 gr ile yapılan ısı depolama kapasite deneyine 140 dakika devam edildi. İkişer dakika aralıklarla sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu deney için ısı değiştiricisine giren suyun sıcaklığı sabit sıcaklık banyosu ile $45^\circ\text{C} \pm 1\%$ olarak sabit bir değerde tutulmuştur. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ nun birim zamanda depoladığı ısı miktarı formül (i) ile hesaplanıp ölçülen sıcaklıklarla beraber Tablo.3.1 de verilmiştir.

$$Q = m_{\text{su}} * t * C_{p_{\text{su}}} * (T_{\text{su giriş}} - T_{\text{su çıkışı}}) \quad (1)$$

burada ,

Q : Depolanan ısı, Kcal

m_{su} : Suyun giriş sıcaklığındaki debisi, gr/dk (Şek.2.3 den)

t : Süre, dakika

T : Sıcaklık, $^\circ\text{C}$

$C_{p_{\text{su}}}$: Suyun özgül ısısı , (1.01 Kcal/Kg $^\circ\text{C}$)

Deney esnasında ölçülen sıcaklıklar zamana karşı grafiğe geçirilerek Şekil.3.1 de görülen dağılım eğrileri elde edildi. Şekildende görüldüğü gibi $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ın sıcaklığı belli bir zamana kadar sürekli olarak yükselmektedir. Madde erimeye başladıktan sonra sıcaklığı erime noktasına uygun olarak hemen hemen sabit kalmaktadır. Deneyin sonlarında ise birmiktar artma göstermektedir. Kalsiyum klorür heksahidratın ısı depolaması sıcaklık değişiminin çok az değiştiği bu aralıkta olmaktadır. Grafikte bu aralık 25-125.dk. aralığıdır.

Tablo.3.1 de hesaplanan ısı miktarları biri zamanda depolanan ısı miktarlarıdır. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ın erime noktası boyunca depoladığı füzyon ısısını bulmak için 25.dk ile 125.dakika arasındaki elde edilen Q değerlerini toplamak gerekir. Tablo 3.1 den bu aralıktaki değerler toplandığında toplam ısı depolama kapasitesi 1700 gr madde için 76.15 Kcal olup bunu Kilogram olarak ifade ettiğimizde 44.79 Kcal olarak bulunur. Bu değer literatürde verilen değere yakındır.

Sodyum Sülfat Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) :

Bu maddenin 1380 gr ile ısı depolama kapasite deneyi 180 dakika yapılmıştır. Sıcaklıklar ikişer dakika aralıklarla ölçülmüş ve Tablo 3.2 de topluca verilmiştir. Bu deney için ısı değiştiricisine giren suyun sıcaklığı sabit sıcaklık banyosu ile 42°C olarak sabit bir değerde tutulmuştur. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ nun birim zamanda depoladığı ısı miktarı formül (1) yardımıyla hesaplanıp elde edilen değerler Tablo 3. 2 de verilmiştir. Bu sıcaklıklar zamana karşı grafiğe geçirilerek bu maddenin sıcaklık dağılım grafiği çizilmiştir. Elde edilen sıcaklık-dağılım eğrileri Şek. 3.2 de görülmektedir. Yine burada da maddenin sıcaklığı erime noktasına kadar artmakta daha sonra ise belirli zaman aralığında hemen hemen sabit kalmaktadır. Şekilde bu aralığın 42. dak ile 156. dakika arasında olduğu görülmektedir. Deneyin sonuna doğru sıcaklık bir miktar artış göstermektedir. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ nun ısı depolaması 42. dak-156. dak. aralığında olmaktadır. Füzyon ısısı şeklinde depolanan toplam ısı seçtiğimiz zaman aralığındaki depolanan birim ısıların toplamıdır. Buna göre 1380 gr maddenin depoladığı toplam ısı miktarı 83.14 Kcal dır. Bir kilogram maddenin depoladığı ısı ise 60.24 Kcal dır.

Sodyum Karbonat Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) :

Bu tuz hidratın 1590 gr ile yapılan ısı depolama deneyi 150 dakika devam etmiştir. Sıcaklıklar ikişer dakika aralıklarla ölçülmüş olup Tab. 3. 3 de verilmiştir. Isı değiştiricisinin giriş sıcaklığı sabit sıcaklık banyosu ile 43°C olarak sabit bir değerde tutulmuştur. Sodyum Karbonat Dekahidrat'ın birim zamanda depoladığı ısı miktarı formül (1) yardımıyla hesaplanarak Tablo 3. 3 de verilmiştir.

Ölçülen sıcaklıklar zamana karşı grafiğe geçirilerek bu madde için sıcaklık dağılım grafiği elde edildi. (Şek. 3. 3.). Grafikten kimyasal maddenin 15. dakikaya kadar sıcaklığının sürekli arttığını, fakat madde erimeye başladıktan sonra sıcaklığın hemen hemen sabit kaldığı, deneyin sonuna doğru biraz artmıştır. Bu aralıkta (15. dak. - 130. dak. arası) dışarıdan verilen ısı madde tarafından fizyon ısısı olarak depolanmıştır. Depolanan toplam fizyon ısısı, daha önce hesaplanan birim ısılarına eşittir. Yani 15. dakikadan 130. dakikaya kadar depolanan ısıların toplamıdır. Tablo 3.3. deki hesaplanan ısılar toplanırsa 1590 gr $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ın depoladığı toplam ısı miktarı 94.39 Kcal dır. Bir kilogram maddenin depoladığı fizyon ısısı ise 59.36 Kcal dır.

Disodyum Fosfat Dodekahidrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$):

Bu maddenin 1580 gr ile yapılan ısı depolama deneyi 225 dakika devam etmiştir. Sıcaklıklar ikişer dakika aralıklarla ölçülmüş olup Tablo 3. 4 de verilmiştir. Isı değiştiricisinin giriş sıcaklığı sabit sıcaklık banyosu ile $53^\circ\text{C} \pm 1$ olarak sabit bir değerde tutulmuştur. $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ın birim zamanında depoladığı ısı miktarı formül(1) yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3. 4 de verilmiştir. Ölçülen sıcaklıklar zamana karşı grafiğe geçirilerek sıcaklık dağılım eğrileri elde edildi. (Şek. 3. 4) Grafikten $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ nın 40. dakikaya kadar sıcaklığının sürekli arttığını, fakat madde erimeye başladıktan sonra sıcaklığının hemen hemen sabit kaldığını, 200.dk. ise artmağa başladığı görülmektedir. İşte sıcaklığın çokaz değiştiği bu aralıkta (40-200. dak arası) dışarıdan verilen ısı madde tarafından fizyon ısısı olarak depolanmaktadır. Fizyon ısısı, bu aralıktaki birim ısılardan toplamına eşittir. Tablo 3. 4 deki hesaplanan birim ısılardan toplanırsa 1580 gr. $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ın depoladığı toplam ısı miktarı 103.52 Kcal dır. Bir kilogram maddenin depoladığı fizyon ısısı ise 65.51 Kcal dır. Hesaplanan bu değer literatür değeri ile uyusmaktadır.

Sodyum Sülfat - Sodyum Karbonat Karışımı :

Bu karışım ağırlıkça %60 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve %40 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ dan meydana gemiştir. Bu karışımın 1550 gr ile yapılan deney 150 dakika devam etmiştir. Sıcaklıklar ikişer dakika aralıklarla ölçülmüş ve Tablo.3.5. de verilmiştir. Su giriş sıcaklığı sabit sıcaklık banyosu ile $30^\circ\text{C} \pm 1$ olarak sabit bir değerde tutulmuştur. Bu karışımın birim zamanda depoladığı ısı miktarı formülü(1) yardımıyla hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo.3.5. de verilmiştir. Ölçülen sıcaklıklar zamana karşı grafiğe geçirilerek sıcaklık dağılım eğrileri elde edildi (Şekil.3.5).Grafikten bu tuz hidrat karışımının sıcaklığının ilk zamanlarda sürekli arttığı, erime noktasında ise sabit kaldığı görülmektedir. Karışımın füzyon ısısını depolaması sıcaklık değişiminin sabit kaldığı bu aralıkta olmaktadır. Depolanan toplam ısı, bu aralıkta her iki dakikada bir absorbladığı ısılardan toplamına eşittir. Tablo.3.5. deki ısılardan toplanırsa 1550 gr tuz hidrat karışımının depoladığı toplam ısı miktarı 52.80 Kcal dır. Bir kilogram karışımın depoladığı ısı ise 34.06 Kcal dır.

Tablo.3.1 Kalsiyum Klorür Hekzahidrat için ölçülen deneysel değerler

T_1 :Reaktörün merkezindeki sıcaklık, T_2 :Su giriş sıcaklığı, T_3 :Su çıkış sıcak.

Zaman(dakika)	T_1 °C	T_2 °C	T_3 °C	Q(Dep.Isı,Kcal)
0	15.19	44.20	20.15	-
2	17.98	44.90	28.17	10.807
4	22.54	45.00	31.11	9.239
6	23.76	45.00	34.85	6.800
8	25.23	45.00	35.58	6.311
10	25.23	45.00	37.20	5.226
12	26.21	45.00	38.10	4.623
14	26.95	45.00	38.80	4.154
16	27.53	45.00	39.50	3.685
18	27.91	45.00	40.10	3.283
20	28.40	45.00	40.60	2.948
22	29.13	45.02	40.80	2.814
24	29.87	45.00	41.10	2.613
26	30.36	45.00	41.10	2.613
28	30.36	45.00	41.35	2.445
30	30.36	45.00	41.55	2.311
32	30.36	45.00	41.55	2.311
34	30.36	45.00	41.55	2.311
36	30.36	45.00	41.95	2.043
38	30.36	45.00	42.10	1.943
40	31.60	45.00	42.20	1.876
42	31.60	45.04	42.20	1.876
44	31.60	45.00	42.20	1.876
46	31.60	45.00	42.20	1.876
48	31.60	45.00	42.60	1.608
50	32.54	45.00	42.60	1.608
52	32.54	45.00	42.60	1.608
54	32.54	45.00	42.60	1.608
56	32.54	45.00	42.60	1.608
58	32.54	45.00	42.60	1.608
60	32.54	45.00	42.60	1.608
62	32.54	45.00	42.60	1.608
64	32.54	45.00	42.60	1.608
66	32.54	45.00	42.60	1.608
68	32.54	45.00	42.60	1.608
70	32.23	45.00	42.80	1.474

Zaman(dakika)	T_1 °C	T_2 °C	T_3 °C	Q(Dep. Isı, Kcal)
72	33.23	45.00	42.80	1.474
74	33.23	45.00	42.80	1.474
76	33.23	45.00	42.80	1.474
78	33.23	45.00	42.80	1.474
80	33.23	45.00	42.80	1.474
82	33.23	45.00	42.80	1.474
84	33.23	45.00	42.80	1.474
86	33.23	45.00	42.80	1.474
88	33.23	45.04	42.80	1.474
90	33.23	45.00	42.80	1.474
92	33.23	45.00	42.80	1.474
94	33.23	45.00	42.80	1.474
96	33.23	45.00	42.80	1.474
98	33.23	45.00	42.80	1.474
100	33.23	45.00	42.80	1.474
102	34.33	45.00	42.80	1.474
104	34.33	45.00	42.95	1.373
106	34.33	45.00	42.95	1.373
108	34.33	45.00	42.95	1.373
110	34.33	45.00	43.10	1.273
112	34.33	45.00	43.10	1.273
114	34.33	45.00	43.10	1.273
116	34.33	45.06	43.20	1.206
118	34.33	45.00	43.20	1.206
120	34.33	45.00	43.20	1.206
122	34.33	45.00	43.20	1.206
124	34.33	45.00	43.50	1.005
126	34.33	45.00	43.50	1.005
128	34.33	45.00	43.50	1.005
130	35.10	45.00	43.80	0.804
135	36.80	45.00	43.85	1.926
140	37.40	45.00	44.00	1.675

Tablo.3.2 Sodyum Sülfat Dekahidrat için ölçülen deneysel değerler

T_1 :Reaktörün merkezindeki sıcaklık, T_2 :Su giriş sıcaklığı, T_3 :Su çıkış sıcak.

Zaman(dakika)	T_1 °C	T_2 °C	T_3 °C	Q(Dep.Isı,Kcal)
0	18.54	41.16	22.86	-
2	19.52	41.95	28.91	8.501
4	20.74	42.00	32.13	6.350
6	22.19	42.00	35.11	4.478
8	23.40	42.00	36.34	3.679
10	23.93	42.00	36.83	3.360
12	24.66	42.00	37.32	3.042
14	25.15	42.00	37.56	2.886
16	25.64	42.00	37.81	2.723
18	25.89	42.00	38.05	2.600
20	26.38	42.00	38.05	2.600
22	26.87	42.00	38.30	2.405
24	27.36	42.00	38.30	2.405
26	27.85	42.00	38.54	2.249
28	28.34	42.00	38.54	2.249
30	28.58	42.00	38.79	2.086
32	28.83	42.00	38.83	2.060
34	29.07	42.01	38.94	1.989
36	29.32	42.00	38.94	1.989
38	29.56	42.00	38.94	1.989
40	29.56	42.00	38.94	1.989
42	29.81	42.00	38.94	1.989
44	29.81	42.00	39.18	1.833
46	30.05	42.00	39.18	1.833
48	30.30	42.00	39.43	1.670
50	30.54	42.00	39.43	1.670
52	30.54	42.00	39.43	1.670
54	30.54	42.00	39.43	1.670
56	30.54	42.00	39.43	1.670
58	30.79	42.00	39.43	1.670
60	30.79	42.00	39.43	1.670
62	30.79	42.02	39.43	1.670
64	30.79	42.00	39.43	1.670
66	31.03	42.00	39.43	1.670
68	31.03	42.00	39.57	1.579

Zaman(dakika)	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	Q(Dep. Isı, Kcal)
70	31.03	42.00	39.67	1.514
72	31.28	42.00	39.67	1.514
74	31.28	42.00	39.67	1.514
76	31.28	42.00	39.67	1.514
78	31.28	42.00	39.67	1.514
80	31.28	42.00	39.67	1.514
82	31.28	42.00	39.67	1.514
84	31.28	42.01	39.67	1.514
86	31.28	42.00	39.67	1.514
88	31.28	42.00	39.67	1.514
90	31.28	42.00	39.67	1.514
92	31.28	42.00	39.67	1.514
94	31.28	42.00	39.67	1.514
96	31.28	42.00	39.67	1.514
98	31.28	42.00	39.67	1.514
100	31.28	42.00	39.67	1.514
102	31.28	42.00	39.67	1.514
106	31.52	42.00	39.80	2.860
108	31.52	42.00	39.92	1.352
110	31.52	42.00	39.92	1.352
112	31.77	42.00	39.92	1.352
114	31.77	42.00	39.92	1.352
116	31.77	42.00	40.00	1.300
118	31.77	42.02	40.16	1.196
120	31.77	42.00	40.16	1.196
122	31.77	42.00	40.16	1.196
124	31.77	42.00	40.16	1.196
126	31.77	42.00	40.16	1.196
128	32.01	42.00	40.16	1.196
130	32.01	42.00	40.16	1.196
132	32.01	42.00	40.16	1.196
134	32.01	42.00	40.16	1.196
136	32.01	42.00	40.16	1.196
138	32.01	42.00	40.16	1.196
140	32.01	42.00	40.16	1.196
142	32.01	42.00	40.16	1.196
144	32.01	42.00	40.16	1.196
146	32.01	42.00	40.16	1.196

<u>Zaman(dakika)</u>	<u>T₁^{°C}</u>	<u>T₂^{°C}</u>	<u>T₃^{°C}</u>	<u>Q(Dep.Isı,Kcal)</u>
148	32.26	42.00	40.16	1.196
150	32.26	42.00	40.16	1.196
152	32.26	42.00	40.16	1.196
154	32.50	42.00	40.16	1.196
156	32.50	42.00	40.16	1.196
158	32.75	42.00	40.16	1.196
160	32.75	42.00	40.16	1.196
162	32.75	42.02	40.16	1.196
164	32.75	42.00	40.16	1.196
166	32.75	42.00	40.46	1.001
168	33.40	42.00	40.70	0.845
172	33.60	42.00	40.80	0.780
178	34.10	42.00	41.10	0.585
180	34.50	42.00	41.20	0.520

Tablo.3.3 Sodyum Karbonat Dekahidrat için ölçülen deneysel değerler

T_1 :Reaktörün merkezindeki sıcaklık; T_2 :Su giriş sıcaklığı; T_3 :Su çıkış sıcak.

Zaman(dakika)	T_1 °C	T_2 °C	T_3 °C	Q(Dep. Isı,Kcal)
0	19.01	41.02	20.90	-
2	23.85	41.95	30.10	11.731
4	27.20	43.30	33.02	5.702
6	30.00	43.30	35.25	5.313
8	31.30	43.30	35.30	5.280
10	31.30	43.30	37.10	4.092
12	31.30	43.30	37.80	3.630
14	32.20	43.30	38.30	3.300
16	33.30	43.30	38.80	2.970
18	33.65	43.30	39.10	2.772
20	33.85	43.30	39.50	2.508
22	33.85	43.30	39.75	2.343
24	33.90	43.30	39.80	2.310
26	33.90	43.30	39.94	2.217
28	33.90	43.30	40.07	2.131
30	33.90	43.30	40.18	2.059
32	33.90	43.30	40.20	2,046
34	33.90	43.32	40.30	1.980
36	33.90	43.30	40.40	1.914
38	33.90	43.30	40.42	1.900
40	33.90	43.30	40.42	1.900
42	34.07	43.30	40.50	1.848
44	34.30	43.30	40.67	1.735
46	34.30	43.30	40.67	1.735
48	34.30	43.30	40.67	1.735
50	34.30	43.30	40.67	1.735
52	34.30	43.30	40.80	1.650
54	34.30	43.30	40.85	1.617
56	34.30	43.30	40.85	1.617
58	34.30	43.31	40.91	1.577
60	34.30	43.30	40.91	1.577
62	34.30	43.30	40.91	1.577
64	34.30	43.30	40.91	1.577
66	34.30	43.30	40.91	1.577
68	34.30	43.30	40.91	1.577
70	34.30	43.30	40.91	1.577

<u>Zaman(dakika)</u>	<u>T₁ °C</u>	<u>T₂ °C</u>	<u>T₃ °C</u>	<u>Q(Dep. Isı, Kcal)</u>
72	34.30	43.30	40.91	1.577
74	35.10	43.30	40.91	1.577
76	35.10	43.30	41.16	1.412
78	35.10	43.30	41.16	1.412
80	35.10	43.32	41.16	1.412
82	35.10	43.30	41.16	1.412
84	35.10	43.30	41.16	1.412
86	35.10	43.30	41.16	1.412
88	35.10	43.30	41.16	1.412
90	35.10	43.30	41.16	1.412
92	35.10	43.30	41.16	1.412
94	35.10	43.30	41.16	1.412
96	35.10	43.30	41.16	1.412
98	35.10	43.30	41.16	1.412
100	35.10	43.30	41.16	1.412
102	35.80	43.30	41.16	1.412
104	35.80	43.30	41.16	1.412
106	35.80	43.30	41.16	1.412
108	35.80	43.30	41.16	1.412
110	35.80	43.30	41.16	1.412
115	35.80	43.30	41.16	1.412
120	35.80	43.30	41.16	1.412
125	35.80	43.30	41.16	1.412
130	35.80	43.30	41.16	1.412
135	36.90	43.30	41.30	1.320
140	37.50	43.30	41.60	1.122
145	38.10	43.30	41.70	1.056
150	38.80	43.30	41.90	

Tablo.3.4 Disodyum Fosfat Dodekahidrat için ölçülen deneysel değerler

T_1 :Reaktörün merkezindeki sıcaklık, T_2 :Su giriş sıcaklığı, T_3 :Su çıkış sıcak.

Zaman(dakika)	T_1 °C	T_2 °C	T_3 °C	Q(Dep.Isı,Kcal)
0	12.76	49.17	24.15	-
2	15.10	52.90	26.25	17.172
4	17.20	53.16	30.60	15.840
6	19.50	53.16	36.40	12.067
8	20.90	53.16	39.10	10.123
10	22.80	53.16	41.30	8.539
12	24.10	53.16	43.65	6.847
14	26.20	53.16	44.17	6.472
16	26.90	53.16	45.39	5.594
18	27.20	53.16	46.75	4.615
20	28.10	53.16	47.20	4.291
22	30.40	53.16	47.55	4.039
24	30.95	53.16	47.95	3.751
26	31.20	53.16	48.15	3.607
28	32.10	53.16	48.65	3.247
30	32.80	53.16	48.87	3.088
32	33.20	53.16	49.05	2.959
34	33.87	53.16	49.25	2.815
36	34.10	53.16	49.55	2.599
38	34.65	53.16	49.92	2.332
40	34.98	53.16	50.05	2.275
42	35.10	53.16	50.22	2.116
44	35.20	53.18	50.47	1.936
46	35.94	53.16	50.47	1.936
48	36.00	53.16	50.47	1.936
50	36.10	53.16	50.47	1.936
52	36.10	53.16	50.47	1.936
54	36.10	53.16	50.71	1.764
56	36.10	53.16	50.82	1.684
58	36.10	53.16	50.96	1.584
60	36.10	53.16	50.96	1.584
62	36.10	53.16	50.96	1.584
64	36.10	53.16	50.96	1.584
66	36.10	53.16	51.20	1.584
68	36.10	53.15	51.20	1.411
70	36.35	53.16	51.20	1.411
72	36.35	53.16	51.25	1.375

<u>Zaman(dakika)</u>	<u>T₁^{°C}</u>	<u>T₂^{°C}</u>	<u>T₃^{°C}</u>	<u>Q(Dep.Isı,Kcal)</u>
74	36.35	53.16	51.35	1.303
76	36.35	53.16	51.45	1.231
78	36.35	53.16	51.45	1.231
80	36.35	53.16	51.45	1.231
82	36.35	53.16	51.45	1.231
84	36.35	53.16	51.45	1.231
86	36.35	53.16	51.45	1.231
88	36.60	53.16	51.45	1.231
90	36.60	53.16	51.45	1.231
92	36.60	53.16	51.45	1.231
94	36.60	53.16	51.45	1.231
96	36.60	53.16	51.45	1.231
98	36.60	53.16	51.45	1.231
100	36.60	53.14	51.45	1.231
102	36.60	53.16	51.45	1.231
104	36.60	53.16	51.45	1.231
106	36.60	53.16	51.45	1.231
108	36.60	53.16	51.45	1.231
110	36.60	53.16	51.45	1.231
112	36.60	53.16	51.45	1.231
114	36.60	53.16	51.45	1.231
116	36.80	53.16	51.45	1.231
118	36.80	53.16	51.45	1.202
120	36.80	53.16	51.49	1.202
122	36.80	53.16	51.49	1.202
124	36.80	53.16	51.49	1.202
126	36.80	53.16	51.49	1.202
128	36.80	53.16	51.49	1.202
130	36.80	53.16	51.49	1.202
132	36.80	53.16	51.49	1.202
134	36.80	53.16	51.49	1.202
136	36.80	53.16	51.49	1.202
138	36.80	53.16	51.49	1.202
140	36.80	53.16	51.59	1.202
142	36.80	53.16	51.59	1.202
144	36.80	53.16	51.59	1.202
146	36.94	53.16	51.59	1.202
148	36.94	53.16	51.59	1.202

<u>Zaman(dakika)</u>	<u>T₁^{°C}</u>	<u>T₂^{°C}</u>	<u>T₃^{°C}</u>	<u>Q(Dep. Isı, Kcal)</u>
150	36.94	53.16	51.59	1.202
155	36.94	53.16	51.59	2.826
160	36.94	53.17	51.59	2.826
165	36.94	53.16	51.64	2.736
170	36.94	53.16	51.69	2.646
175	36.94	53.16	51.74	2.556
180	36.94	53.16	51.74	2.556
185	36.94	53.16	51.74	2.556
190	37.11	53.16	51.74	2.556
195	37.11	53.16	51.74	2.556
200	37.11	53.16	51.74	2.556
205	37.80	53.16	51.90	2.268
210	38.40	53.16	52.10	1.908
215	38.96	53.16	52.15	1.818
220	39.97	53.16	52.20	1.728
225	40.80	53.16	52.28	1.584

Tablo.3.5 Sodyum Sülfat-Sodyum Karbonat karışımı için ölçülen deney değerler

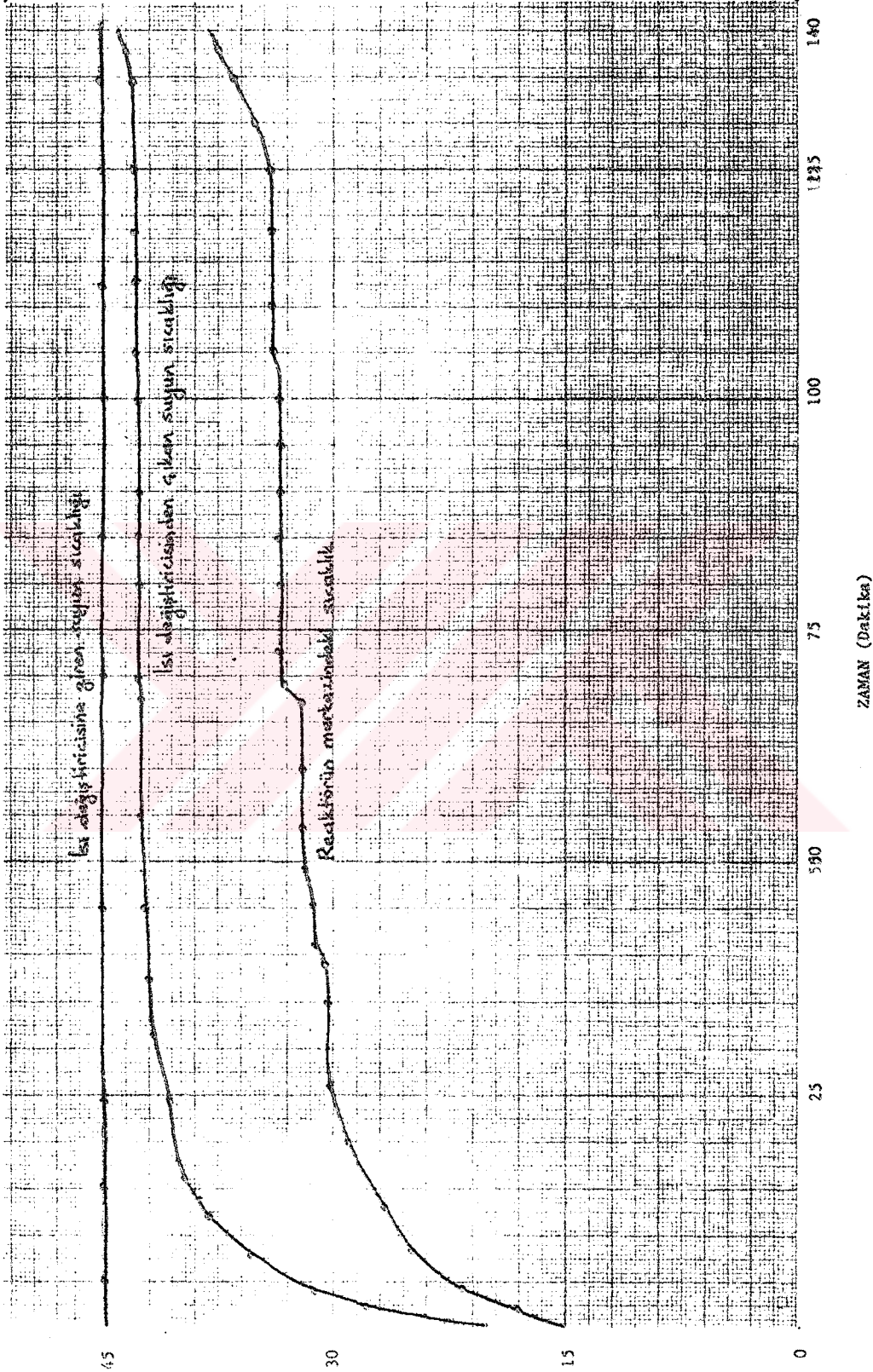
T_1 : Reaktörün merkezindeki sıcaklık, T_2 : Su giriş sıcaklığı, T_3 : Su çıkış sıcak.
 T_1 : Reaktörün merkezindeki sıcaklık, T_2 : Su giriş sıcaklığı, T_3 : Su çıkış sıcak.

Zaman(dakika)	T_1 °C	T_2 °C	T_3 °C	Q(Dep. Isı, Kcal)
0	8.86	29.80	17.37	-
2	10.09	29.85	23.25	3.891
4	12.29	29.89	24.72	3.029
6	14.01	29.89	25.70	2.455
8	14.99	29.89	25.95	2.308
10	15.48	29.89	26.19	2.168
12	15.72	29.89	26.44	2.021
14	16.21	29.89	26.68	1.881
16	16.46	29.89	26.93	1.734
18	16.70	29.89	27.17	1.593
20	17.19	29.89	27.17	1.593
22	17.44	29.89	27.42	1.447
24	17.68	29.89	27.42	1.447
26	17.68	29.89	27.66	1.306
28	18.17	29.89	27.91	1.160
30	18.17	29.89	27.91	1.160
32	18.42	29.89	27.91	1.160
34	18.66	29.89	27.91	1.160
36	18.91	29.89	27.91	1.160
38	18.91	29.89	28.15	1.019
40	18.91	29.87	28.15	1.019
42	18.91	29.89	28.15	1.019
44	18.91	29.89	28.15	1.019
46	19.15	29.89	28.15	1.019
48	19.15	29.89	28.15	1.019
50	19.15	29.89	28.15	1.019
52	19.15	29.89	28.30	0.931
54	19.15	29.89	28.30	0.931
56	19.40	29.89	28.30	0.931
58	19.40	29.89	28.30	0.931
60	19.40	29.89	28.30	0.931
62	19.40	29.89	28.30	0.931
64	19.40	29.89	28.30	0.931
66	19.40	29.89	28.30	0.931
68	19.40	29.89	28.30	0.931
70	19.40	29.89	28.30	0.931

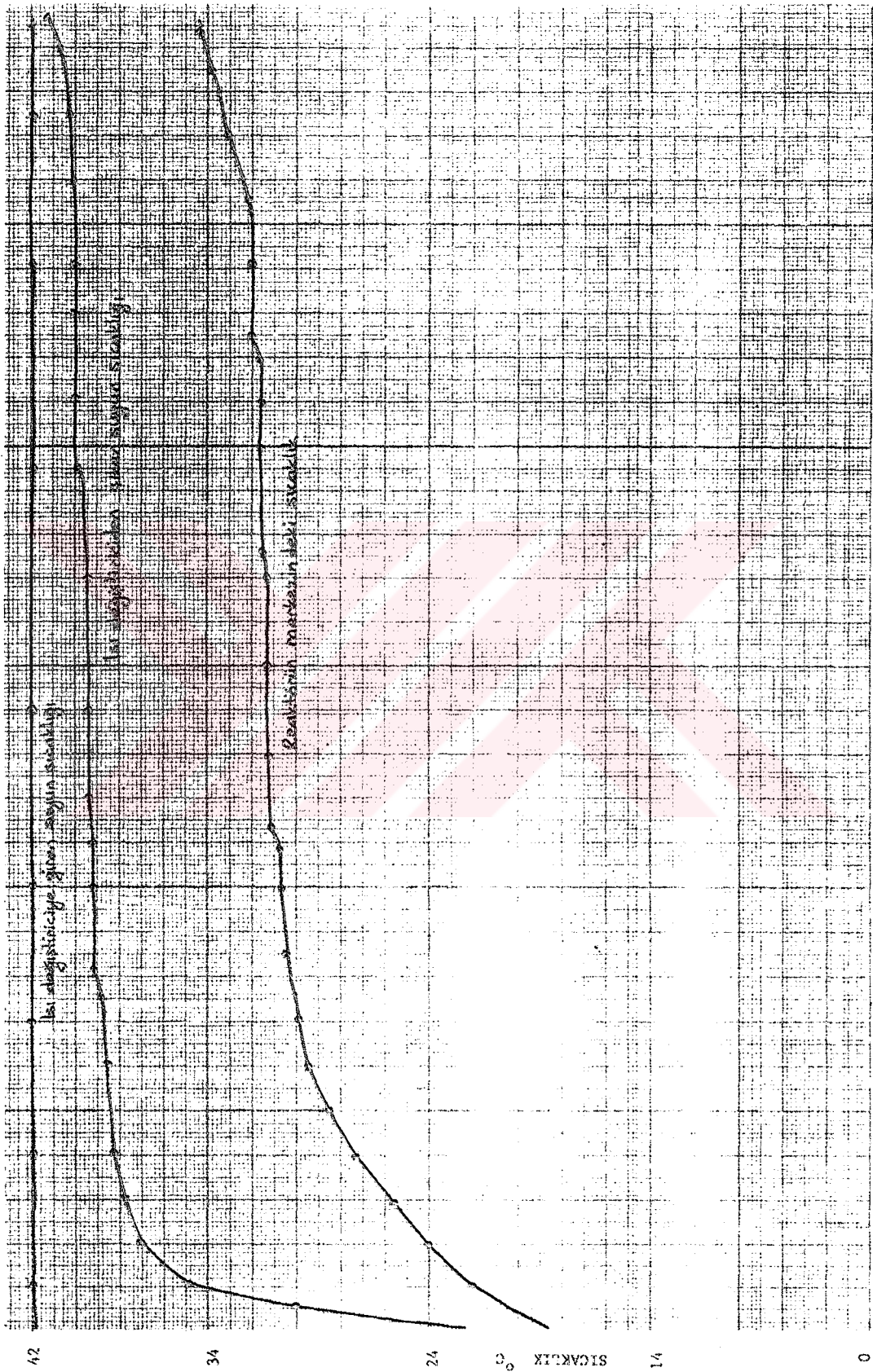
<u>Zaman(dakika)</u>	<u>T₁^{°C}</u>	<u>T₂^{°C}</u>	<u>T₃^{°C}</u>	<u>Q(Dep.Isi,Kcal)</u>
72	19.82	29.89	28.30	0.931
74	19.82	29.89	28.30	0.931
76	19.82	29.89	28.30	0.931
78	19.82	29.89	28.30	0.931
80	19.82	29.89	28.30	0.931
82	19.82	29.89	28.30	0.931
84	19.82	29.89	28.30	0.931
86	19.82	29.89	28.30	0.931
88	20.15	29.89	28.30	0.931
90	20.15	29.88	28.30	0.931
92	20.15	29.89	28.30	0.931
94	20.15	29.89	28.40	0.873
96	20.15	29.89	28.40	0.873
98	20.15	29.89	28.40	0.873
100	20.15	29.89	28.40	0.873
102	20.60	29.89	28.40	0.873
104	20.60	29.89	28.40	0.873
111	20.60	29.89	28.40	3.055
116	20.60	29.89	28.40	2.182
118	20.60	29.89	28.40	0.873
120	20.60	29.89	28.40	0.873
122	20.60	29.87	28.40	0.873
124	20.60	29.89	28.40	0.873
126	20.60	29.89	28.40	0.873
128	20.60	29.89	28.40	0.873
130	20.60	29.89	28.40	0.873
132	20.60	29.89	28.40	0.873
134	20.60	29.89	28.40	0.873
136	20.60	29.89	28.40	0.873
138	20.60	29.89	28.40	0.873
140	20.60	29.89	28.40	0.873
142	21.02	29.89	28.65	0.726
144	21.20	29.89	28.80	0.638
150	21.60	29.89	29.01	1.547

Tablo.3.6. Denejde Kulllanılan Tuz Hidratların Topluca Değerlendirilmesi

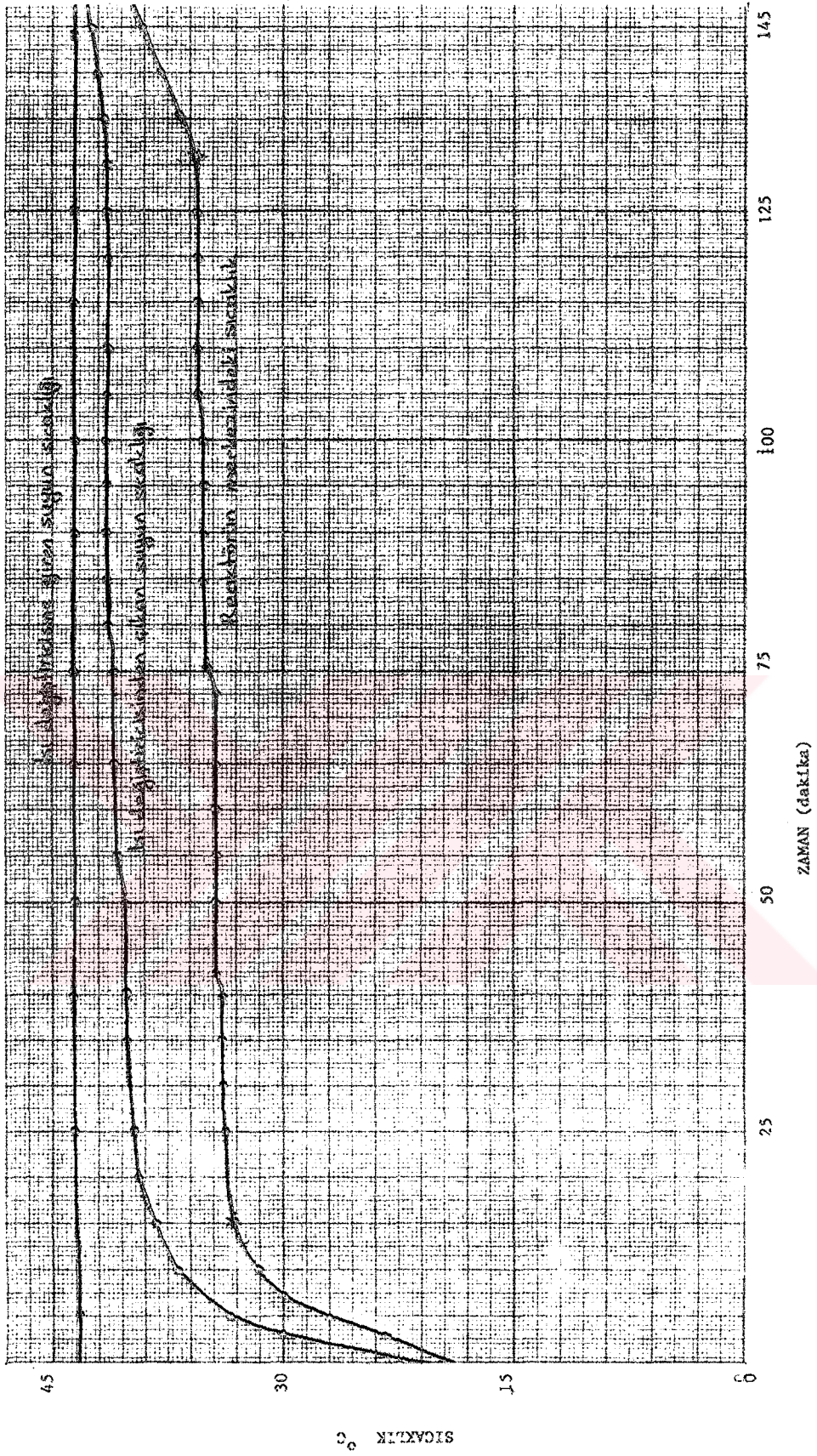
	E.N, °C	d, Kg/m ³	Literatür Q (Kcal) / Kg	Deneysel Q (Kcal) / Kg	Q (Kcal) / m ³	\$/Kg	\$/Kcal	\$/m ³
Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	31.6	1460	60.24	60.24	87,950	0.26	0.0043	378.18
Na ₂ CO ₃ · 10 H ₂ O	(32.2-36.1)	1440	58.76	59.36	85,478	0.29	0.0048	410.29
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	(29.3-34.2)	1710	42.13	44.79	76,591	0.17	0.0038	291.04
Na ₂ HPO ₄ · 12 H ₂ O	36.1	1520	65.40	65.51	99,575	0.61	0.0093	926.05
(Na ₂ SO ₄ · Na ₂ CO ₃) 10 H ₂ O	(19-20)	1450	--	34.06	49,387	0.27	0.0080	395.12



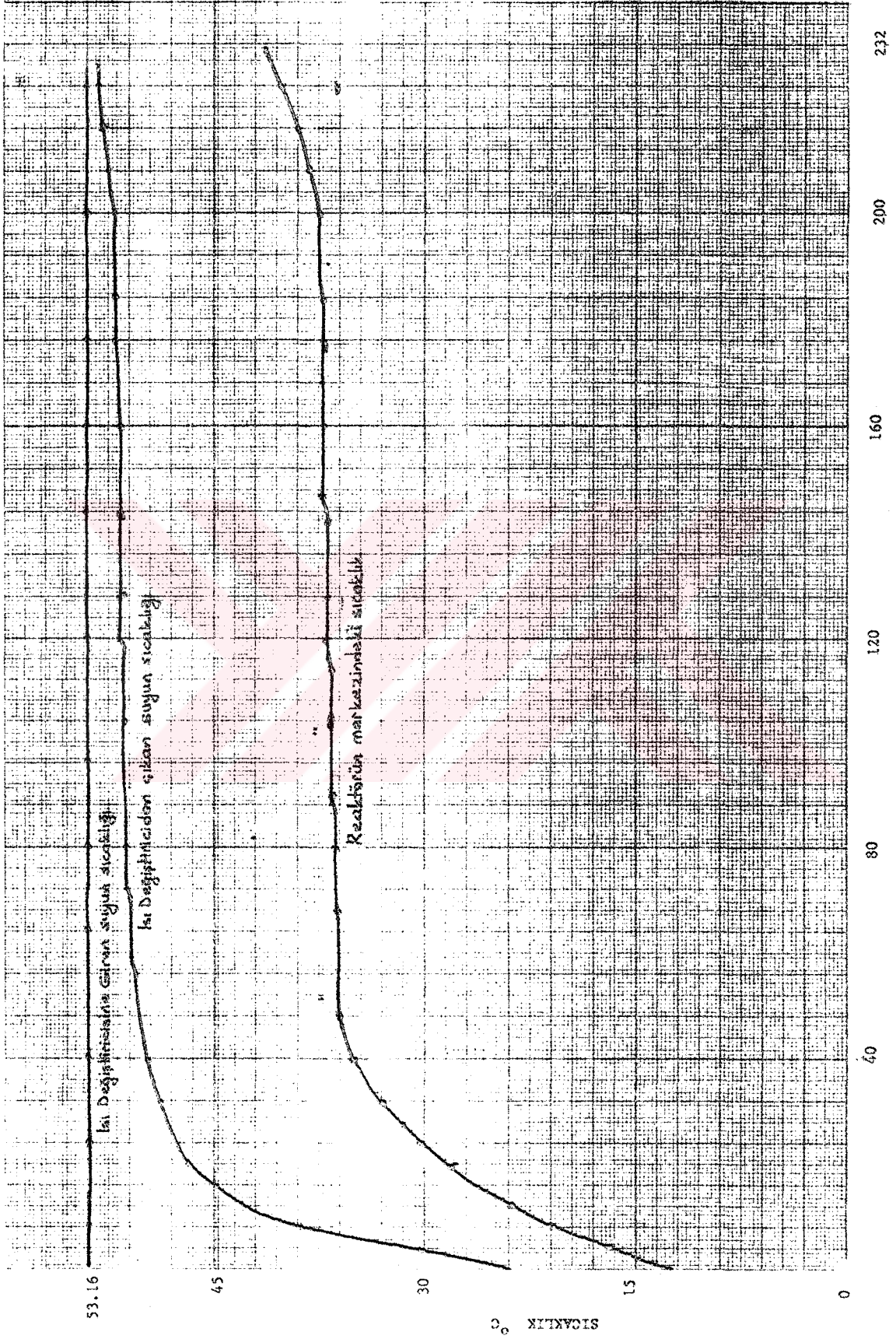
Şekil.3.1 Kalsiyum klorür heksahidrat'ın zaman-sıcaklık dağılım grafiği



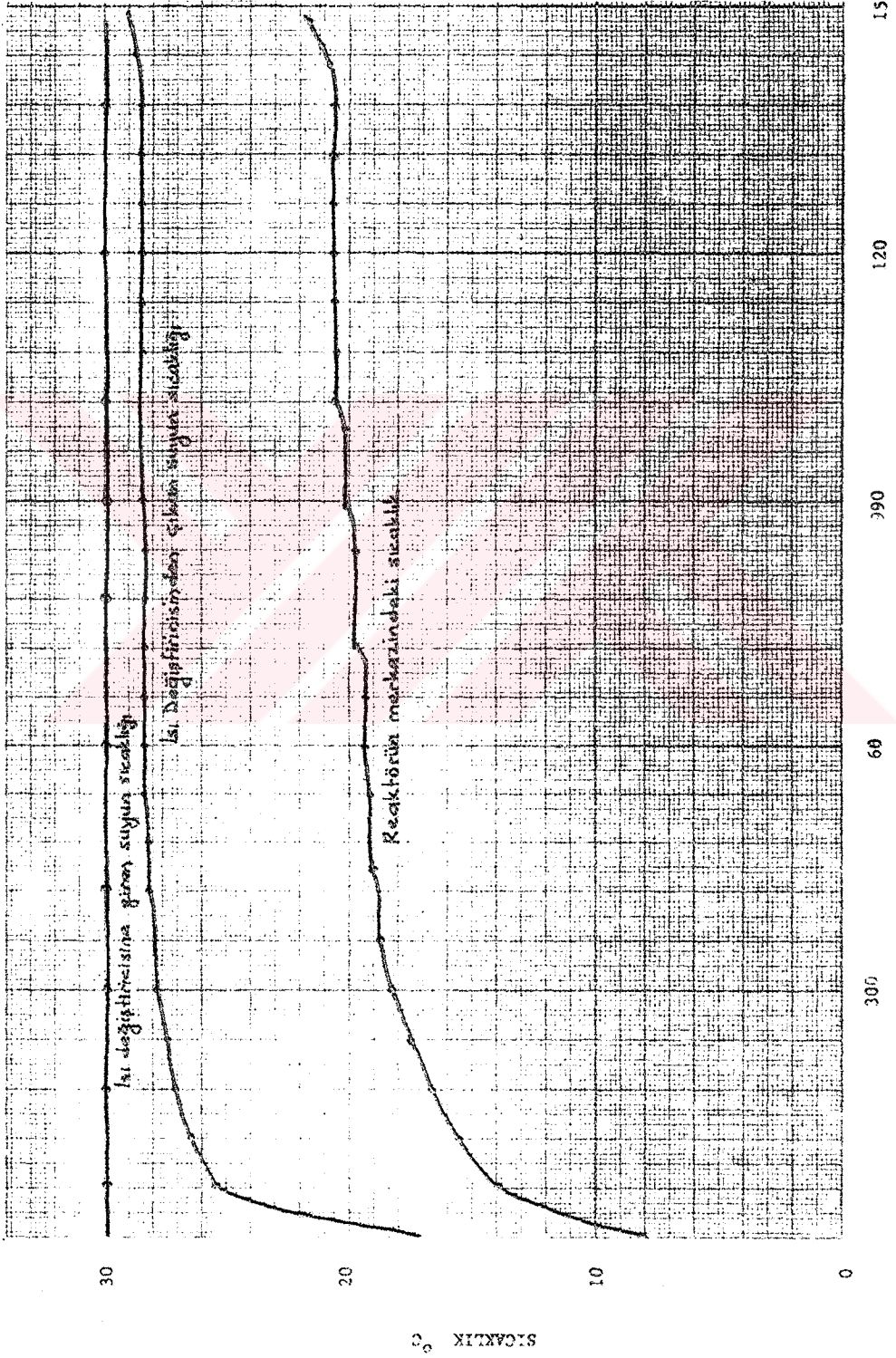
Sekil.3.2 Sodyum Sülfat Dekahidratın zaman-sıcaklık dağılım grafiği



Sekel. 3.3 Sodyum karbonat dekahidrat'ın zaman - sıcaklık dağılım grafiği



Şekil.3.4 Disodyum fosfat dodekahidrat'ın zaman-sıcaklık dağılım grafiği.. ZAMAN (Dakika)



Şekil.3.5 Sodyum Sülfat - Sodyum karbonat karışımının zaman-sıcaklık dağılım grafiği

3.2 Tuz Hidratların Isı Değiştirici Üzerindeki Korozyon Hızları

Bir ay (otuz gün)süreyle yapılan korozyon deneyinde elde edilen sonuçlar Tablo.3.7'de verilmiştir.

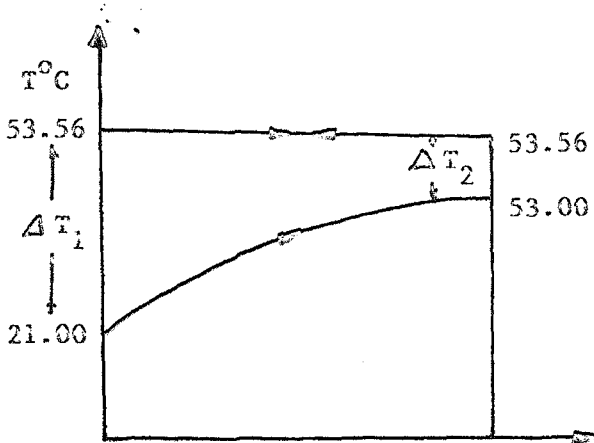
Tablo.3.7. Tuz Hidratların otuz günlük korozyon hızları

Tuz hidrat	Bakır borunun den.öncesi ağırl.	Borunun deney sonrası ağırl.	Boruda meydana gelen kayıp	Korozyon hızı % olarak
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2.7390 gr.	2.7360 gr.	0.0030 gr	0.109
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	2.5260 "	2.5230 "	0.0030 "	0.118
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	2.9942 "	2.9900 "	0.0042 "	0.140
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	2.3830 "	2.3790 "	0.0040 "	0.167

3.3 SU ile Reaktörün Kalibrasyonu ve Tüm ısı transfer katsayısının hesaplanması

Bu deney 1150 gr su ile çeşitli sıcaklıklarda yapıldı ve bunlardan yalnız bir tanesinde ölçülen sıcaklıklar Tablo.3.6 da verildi, Diğer deneylerde de aynı reaktörde ve aynı miktarda su ile deney yapılmış fakat giriş suyu sıcaklıkları değiştirilmiştir. Deney sonuçlarından ΔT değerlerinin hemen hemen sabit kaldığı gözlenmiştir. Çünkü aynı miktarda su ile ve aynı ortamda deney yapılmıştır.

Burada 1150 gr suyun sıcaklığı sabit sıcaklık banyosundan ısıyı sisteme vererek 21.02°C dan 53°C 'a çıkarılmaktadır. Isı değiştirici olarak ,uzunluğu $L = 320\text{ cm}$ ve çapı $D = 0.5\text{ cm}$ olan bakır boru kullanılmıştır. Şimdi böyle bir sistem için tüm ısı transfer katsayısını hesaplayalım :



$$Q = U A (\Delta T)_m$$
$$(\Delta T)_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

$$D = 5\text{mm} = 5\text{cm} = 0.005\text{m}$$

Tablo.3.8 Reaktörün su ile kalibrasyon deneyin. ölçülen değerler

T_1 :Reaktörün merkezindeki sıcaklık, T_2 :Suyun giriş sıcaklığı, T_3 :su çık.sıc.

<u>Zaman(dakika)</u>	<u>T_1 °C</u>	<u>T_2 °C</u>	<u>T_3 °C</u>
0	21.02	48.93	25.76
2	26.68	53.56	31.55
4	36.65	53.56	38.50
6	43.13	53.56	43.83
8	43.18	53.56	46.38
10	45.91	53.56	48.23
12	48.23	53.56	49.62
14	49.62	53.56	50.32
16	50.32	53.56	51.01
18	50.32	53.56	51.24
20	51.01	53.56	51.71
22	51.24	53.56	51.94
24	51.94	53.56	52.17
26	51.98	53.56	52.40
28	52.17	53.56	52.40
30	52.30	53.56	52.40
32	52.40	53.56	52.40
34	52.63	53.56	52.63
36	52.63	53.56	52.63
38	52.87	53.56	52.63
40	52.87	53.56	52.63
42	52.87	53.56	52.87
44	52.87	53.56	52.87
46	53.00	53.56	52.87
48	53.00	53.56	52.87
50	53.00	53.56	53.10
52	53.00	53.56	53.10
54	53.00	53.56	53.10
56	53.00	53.56	53.10
58	53.00	53.56	53.10
60	53.00	53.56	53.10

Önce sistemin aldığı ısıyı hesaplayalım :

$$\begin{aligned} Q &= m_{su} * C_{p_{su}} * (T_{son} - T_{ilk}) \\ &= 1150 * 1.01 (53-21) \\ &= 36.80 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

Şimdide ortalama logaritmik sıcaklık farkını hesaplayalım :

$$(\Delta T)_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} = \frac{32.56 - 0.56}{\ln \left(\frac{32.56}{0.56} \right)} = 7.88$$

Isı değiştiricinin alanı :

$$A = 3.14 * D * L = 3.14 * (0.005m) (3.2m) = 0.0502 \text{ m}^2$$

$$Q = U A T_m \text{ formülünden } U = \frac{Q}{A \Delta T_m} = \frac{36.80 \text{ Kcal/hr}}{0.0502 \text{ m}^2 (7.88 \text{ } ^\circ\text{C})}$$

buradan $U = 93 \text{ Kcal/m}^2\text{hr } ^\circ\text{C}$ olarak hesaplanır.

3.4. Su ve Kalsiyum Klorür Hekzahidrat İle Isı Pompasında Yapılan Deney Sonuçları

6 Kg su ile yapılan deneyde ;

19.5 $^\circ\text{C}$ dan 39 $^\circ\text{C}$ 'a 50 dakikada ısıttı

39 $^\circ\text{C}$ dan 19.5 $^\circ\text{C}$ 'a 30 dakikada soğuttu

10 Kg $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ile yapılan deneyde ;

18.5 $^\circ\text{C}$ dan 33.5 $^\circ\text{C}$ 'a 150 dakikada ısıttı

33.5 $^\circ\text{C}$ dan 18.5 $^\circ\text{C}$ 'a 40 dakikada soğuttu

Deney sonuçlarından da görüldüğü gibi 10 Kg $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'ı eritmek için geçen zaman, aynı maddeyi kristallendirmek için geçen zamandan daha fazladır.

Bu durumu şu şekilde açıklayabiliriz : Isıtma durumunda devridaim akışkanı (Freon-22) buhar halinde, soğutma durumunda ise sıvı halindedir. Buharın sıvıya ısı transfer film katsayısı , sıvının sıvıya ısı transfer film katsayısından küçük olduğundan , ısıtma soğutmaya göre daha uzun zamanda gerçekleşmektedir. Ayrıca evaporatörün yüzeyi (11 m^2) kondansörün yüzeyinden (20.7 m^2) küçüktür. Bu da ısıtmanın soğutmaya göre daha uzun bir zamanda olmasına neden olmaktadır.

Şimdide Isı pompasında ısı kaynağı olarak hava ve $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanıldığında elde edilen COP değerlerini hesaplayalım :

1- Isı kaynağı olarak $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (e.n = 34) kullanıldığında ;

$$\text{COP} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{273 + 34}{(273+50) - (273+34)} + 1 = 20.18$$

2- Isı kaynağı olarak 5°C deki Hava kullanılırsa ;

$$\text{COP} = \frac{273 + 5}{(273+50) - (273+5)} + 1 = 7.17$$

3- Isı kaynağı olarak 10°C deki Hava kullanılırsa ;

$$\text{COP} = \frac{273 + 10}{(273+50) - (273+10)} + 1 = 8$$

burada ısıtılacak ortamın sıcaklığı 50°C olarak alındı.

Sonuçlardan da görüldüğü gibi en yüksek COP değeri ısı kaynağı olarak Kalsiyum klorür heksahidrat kullanıldığında elde edildi.

BÖLÜM 4

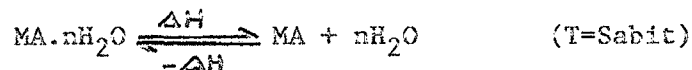
TARTIŞMA VE SONUÇ

Bölüm 1 de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi ısı pompaları dışarıdan iş olarak düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı nakletmek amacı ile kullanılırlar. Bu iki ortam arasındaki sıcaklık farkı ΔT ne kadar az olursa $COP = T_H / (T_H - T_L)$ formülü gereği COP değeri o oranda artar. Kaynak olarak hava kullanılsa bile daima $COP > 1$ dir. Ayrıca ısı pompalarının düzenli çalışmasına etkin olan en önemli faktör ortam sıcaklıklarının sabit olmasıdır. Isı kaynağı olarak sıcaklığı değişen bir ortam kullanılırsa kompresörün arıza yapma ihtimali artar.

Bu mahsurları ortadan kaldırmak için sıcaklığı sabit ve 40°C dan düşük olan bir ısı deposundan ısı alınarak ısıtılacak ortama nakledilmesi hem COP değerini artırır ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ için $COP=20.18$) hemde kompresör arızalarını ortadan kaldırır.

Bu amaçla, ısı depolama özelliklerine sahip tuz hidratların erime noktaları $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($29-34^\circ\text{C}$), $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (31.6°C), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ($32.2-36.1^\circ\text{C}$), $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (36.1°C) ve Sodyum sülfat-Sodyum karbonat karışımının erime noktası $19-20^\circ\text{C}$ dir. Isı depolama kapasiteleri genel olarak tayin edildi. (Tablo 3.1; 3.2; 3.3; 3.5; 3.4) Grafik 3.2; 3.1; 3.3; 3.4; 3.5 den de görüldüğü gibi tuz hidratların ısı absorpsiyonu sabit sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Bu durum pompanın düzenli çalışmasını sağlar. Tablo 3.6 da birim hacim tuz hidratın depolayacağı ısı miktarı görülmektedir. Bu tuz hidratlar kapalı bir sistemde bulunacağından sistemin karıştırılması gerekir. Aksi takdirde ısı değiştirici üzerinde kabuk teşekkül ederek ısı transferini güçleştirir. Isı depolayıcı maddenin zamanla azalma veya tükenme problemi olmadığından sabit yatırım maliyetine dahil edilir.

Bu tuz hidratların suyu bağlama ve bırakma olayı sıcaklığa bağlı reversibil bir olay olduğundan aşağıdaki model geçerlidir. Bu olay değişik sayıda kademelerden oluşsa bile aynı başlangıç ve sonuç için entalpi değişimi sabittir.



Sonuç olarak ısı pompalarıyla evlerin ısıtılmasının sağladığı avantajlara ilave olarak tuz hidratların ısı depolayıcı madde olarak kullanımı aşağıdaki avantajları sağlar.

- 1-Isı pompalarının kullanımının sağladığı avantajları sağlarlar.
- 2-Isı pompasının COP değerini artırır.
- 3-Güneş enerjisinin depolanarak kullanımını sağlar.
- 4-Atıl kalan enerjilerin değerlendirilmesi
- 5-Bu çalışmada kullanılan ısı pompası gibi dizayn edilenler hem ısıtma hemde soğutma imkanı verirler.
- 6-Isı pompasının sağlıklı çalışmasını sağlarlar.

Depo sisteminin dejavantajları :

- 1- Yatırım maliyetini artırır.
- 2- Korozyon problemi nedeni ile ısı değiştiricinin ömrü azalır.
- 3- Isı değiştirici yüzeyinde kabuk oluşması
- 4- İzolasyon masrafının artması.

Bu çalışmada, kullanılan tuz hidratlardan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Solvay yöntemi ile Soda üretiminin atık maddesi olduğundan hem bu atıklar değerlendirilir hemde ısı depolama özelliği nedeniyle ısı pompaları için uygun bir depolama malzemesi olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Anonymous, Saving of Energy In Refrication, International Institue of Refrigeration, Paris, 1980.
- Aybers,N.,Mühendislik Termodinamiğinin Esasları ,İstanbul, 1980.
- Boggarm,S.V.Setty, Economics of Heat Pumping, Ashrae Jor.,48-51,1979.
- Böer,K.W., (Ed.) Sharing The Sun Solar Technology In The Seventies,1976.
- CRC "Handbook of Chemistry and Physics" , CRC Press, 1982-83.
- Etherington,T.L. and Schenectady,N.Y., A Dynamic Heat Storage System, Heating Piping and Air Conditioning,December, 1957.
- Gürüz,K., Kimya Mühendisliği Termodinamiği , Ankara, 1986.
- Kakaç,s., Örneklerle Isı Tranferi , ODTÜ , 1981.
- Perry,R.H. and Shilton,C.,(Ed.), "Chemical Engineer's Handbook" , MG-CRAW HILL Comp. 5th Edition, 1973.
- Reay,D.A.;Macmichael,D.B.A., Design and Aplication Heat Pumps, Pergamon Press,London, 1979.
- Sarkes,L.A.; Nicholls,J.A.; Menzer,M.S., "Gas Fired Heat Pumps An Emerging Technology", ASHRAE Journal, pp.36-42, 1977.
- Sumner,J.A., Domestic Heat Pumps , Prism Press Dorchester, 1976.
- Telkes,M., Solar Energy Storage , ASHRAE Journal, 38-44, 1974.
- Telkes,M., Nucleation of Supersaturated Inorganic Salt Solutions, Ind. and Eng. Chem.,44,(6), 1308-1310, 1952.

ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Trabzon'un Çaykara ilçesinde doğdu. İlk ve ortaokulu Çaykara'da okudu. Lise tahsilini Trabzon'da tamamladı. 1980'de Konya Selçuk Üniversitesi Müh-Mim. Fakültesi Kimya Mühendisliğine kayıt yaptırdı. 1984 de Kimya Mühendisi olarak mezun oldu. 1985 yılında K.T.Ü Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Yüksek Lisansa başladı. Aynı yıl Kimya Bölümünde açılan Araştırma Görevliliği imtihanını kazandı. Halen bu görevi sürdürmektedir.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi