

T. C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

T. C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİNİN DEPOLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Ali AYDEMİR

M. Celalettin BAYKUL

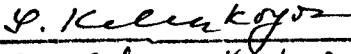
T. C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

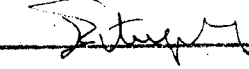
Ocak — 1987
ESKİŞEHİR

M. Celalettin BAYKUL' un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı " Güneş Enerjisinin Depolanması " başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.30./.../1987

Başkan: 
Prof. Dr. Ali Aydemir

Uye : 
Doç. Selami Kılıçkaya

Uye : 
Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Yörükoğlu

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun
.....3.2.1987. gün ve 138/3.... sayılı
kararıyla onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Rüstem KAYA

ÖZET

Güneş enerjisinin etkinliği araştırmalar sonucu ortaya çıkınca, bunun insanlığın yararına kullanılması için gerekli çalışmalar başlatılmıştır. Bugün bu çalışmalar sürekli gelişerek devam etmektedir.

Çalışmada güneş enerjisinin depolanması genel olarak gözden geçirilmiştir. Bu depolama şekillerinden, su da depolama deneysel olarak incelenmiş, zeolitte depolama şekli içinde bir sistem düşünülmüş tür.

Düzlem kollektörler gelen güneş ışınımını ısı enerjisine dönüştürerek, bu enerjiyi akışkana aktarırlar. Bu kollektör, içinden geçen akışkanın tipine göre düzlem yüzlü su kollektörü veya düzlem yüzlü hava kollektörü olarak adlandırılırlar.

Kollektörlerin verimi

$$\eta = \frac{V C_p (T_g - T_g)}{I A_k}$$

ile gösterilir.

Güneş enerjisi sürekli değildir. Bu problem bugün depolama sistemleri geliştirilerek çözülmeye çalışılmaktadır. Bu yüzden yararlı enerjiyi sağlayan kollektörlerin yüksek verimli ve depolamada kullanılan malzemelerin de ekonomik ve pratik olması gerekmektedir.

Deponun iyi bir şekilde yalıtılması sonucu

sıcak su elde edilmesinde kollektörlerin yararlı olduğu anlaşılmıştır. Kollektörlerin kışın iki - üç ay dışında bütün bir yıl kullanılabilir olması yapılan ölçümlerden anlaşılmıştır.

SUMMARY

When the effectiveness of the solar energy has been proved as a result of intensive research works, it is being used in favor of mankind. Still, these works are going on.

In this research work, the solar energy storage has been generally investigated. The storage system used the method of storing water in zeolite experimentally.

In flat plate collectors, sun's rays changed into heat energy which then transferred this energy into the fluid. This collector is called as a flat plate water or air collector according to the kind of fluid which passes through that collector.

The efficiency of the collectors is shown as

$$\eta = \frac{V C_p (T_g - T_g)}{I A_k}$$

Solar energy is not continuous. However, this problem is trying to be solved by improving the storage system. Thus, collectors which proved to be useful should be highly productive and the materials which are used in storing must be economic and particable.

It is understood that collectors are useful in gathering hot water when the storage is well

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak çalıştığım güneş enerjisinin depolanması konusunda, değerli vakitlerini ayırarak, değerli bilgilerinden yararlandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Ali AYDEMİR' e, özellikle deneysel sonuçların alınması için gerekli kurguların sağlanmasında yakın desteklerini gördüğüm ve her türlü olanağı sağlayarak yardımlarını esirgemeyen A.Ü. Fen - Edebiyat Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Ercan GÜVEN' e saygılarımı ve şükranlarımı arz etmeyi bir borç bilirim.

Tez esnasında zeolit hakkındaki köklü bilgilerinden yararlandığım Sayın Yard. Doç. Dr. Ertuğrul YÖRÜKOĞULLARI' na, bu tezin daktilo edilmesinde yardımcı olan kardeşim A. Himmet BAYKUL' a, şekillerin çiziminde büyük yardımlarını gördüğüm kardeşim Sabiha TAYMAZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bana her zaman çalışmalarımda destek olan eşim Azize' ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1 Isı Aktarımı	3
1.1.1 Isı İletimi	3
1.1.2 Konveksiyon	5
1.1.3 Işıma	6
1.2 Isıl Çevrimler	8
1.2.1 Rankine Çevrimi	8
1.2.2 Brayton Çevrimi	10
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	12
2.1 Yeryüzüne gelen Güneş Işınımı	12
2.2 Güneş Enerjisinin İlk Uygulaması	13 ✓
2.3 Kirchhof Kanunu	14
2.4 Planck Kanunu	14
2.5 Wien Kanunu	15
3. GÜNEŞ ENERJİSİNİN DÖNÜŞÜMÜ	17
3.1 Güneş Enerjisinin Doğrudan Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi	17
3.1.1 Yarıiletkenlerin Güneş Enerjisi ile ilişkisi	18
3.1.2 Yarıiletken Güneş Pillerinin Çalı- şıma Prensipleri	19

3.1.3	Güneş Pillerinin Verimi	22
3.2	Güneş Enerjisinin Önce Isı Enerjisine Sonra da Elektrik Enerjisine Dönüştü- rülmesi	23
3.2.1	Parabolik Toplaçlı Güneş Sant- ralı	24
3.2.2	Kule Tipi Güneş Enerji Sant- ralleri	27
3.2.2.1	Almeira Projesi	32
3.2.2.2	İnter Atom Projesi Federal Almanya	33
3.2.2.3	Boeing Projesi	34
3.2.2.4	Barstow Projesi	35
3.2.2.5	Diğer Güneş Enerji Santralleri	36
3.3	Güneş Enerjisinin Isı Enerjisine Dö- nüştürülmesi	37
4.	DÜZLEM TOPLAÇLI SU ISITMA SİSTEMİ	38
4.1	Düzlem Su Isıtıcısının Çalışma Prensibi	38
4.2	Düzlem Su Isıtıcı (Kollektör)	40
4.2.1	Saydam Örtü	41
4.2.2	Yutucu Yüzey	42
4.2.2.1	Seçici Yüzey	42
4.2.2.2	Yutma Geçirme Çarpımı .	44
4.2.3	Isı Yalıtımı ve Kasa	46
4.3	Kollektörlerin Isıl Analizi	47
4.3.1	Toplayıcı Isı Kayıp Katsayısı .	48

	<u>Sayfa</u>
4.3.2 Kollektör Isı Geçiş Faktörleri.	52
4.3.3 Kollektör Verim Faktörü	57
4.3.4 Akışkanın Kollektörden Çıkış Sıcaklığı	57
4.3.5 Kollektör Isı Kazanç Faktörü .	59
4.4 Günlük Ortalama Kollektör Verimi	60
4.5 Düzlem Kollektör Anlık Verimi	60
4.6 Depolanan Enerji	61
4.6.1 Depodan Çevresine Isı Kaybı ..	62
4.6.2 Depo Sıcaklığının Değişimi	63
4.7 Yapılan Deneysel Çalışmada Kullanılan Kollektör	64
4.8 Alınması Gereken Ölçüler İçin Kollektörle Su Isıtma Sistemine Konulan Ölçü Aygıtları	65
5. DÜZLEM KOLLEKTÖRDE ALINAN ÖLÇÜMLER VE SONUÇLAR	67
6. KULLANILAN ÖLÇÜ AYGITLARI	71
6.1 Termokupl	71
6.1.1 Termokuplun Yapısı	71
6.1.2 Termokupl Çeşitleri	72
6.1.3 Termokuplların Sıcaklık - Milivolt Karakteristik Eğrileri	73
6.1.4 Deneysel Çalışmada Kullanılan Termokupllar	74
6.1.5 Termokuplların Kalibre Edilmesi.	75

6.2	Güneş Işınımı Şiddetini Ölçen	
	Aygıtlar	78
6.3.1	Solarimetre	79
6.3	Termometreler	80
6.4	Su Saati	80
7.	GÜNEŞ ENERJİSİNİN DEPOLANMASI	81
7.1	Temel Sistem Diyagramı	81
7.1.1	Güneş Toplama Bölgesi (kollektör)	82
7.1.2	Isı Depolaması	82
7.1.3	Isı Değiştirgeci	83
7.1.4	Türbin	83
7.1.5	Yoğuşturucu (Condanser)	83
7.2	Kimyasal Depolama	84
7.3	Isı Depolaması	84
7.3.1	Görünür Isı Depolaması	85
7.3.2	Gizli Isı Depolaması	87
7.3.2.1	Donma ve Erime Nokta- ları	87
7.3.2.2	Gizli Isı Depolamasında yararlanılabilen maddeler	90
7.3.2.3	Gizil Isı Depo Dizay- nında dikkat edilmesi gerekten koşullar	91
7.3.2.4	Gizil ısı Depolamasının Bazı Depolama Çeşitleri ile karşılaştırılması ...	91

7.3.2.5	Glauber Tuzu ile gizil ısı depolanmasının bir incelenmesi	92
7.4	Çakıl Taşlarıyla ısı Enerji Depolaması	96
7.4.1	Çakıllara Depolanan Güneş Enerjisi Isıtma Sistemi	97
7.4.2	Sistemin Çalışması	98
7.4.3	Sistem Dizaynında ve yapımında Dikkat Edilmesi Gerekli Koşullar	99
7.4.4	Sistemin Özellikleri	99
7.4.5	Çakıl Taşlara Enerji Depolama sisteminin avantajları ve Dezavantajları	100
7.5	Kimyasal Bataryalar	101
7.6	Biyolojik Depolama	102
7.7	Sıkışmış Hava	105
7.8	Hidrojen Üretimi	105
7.8.1	Hidrojenin Önemi ve Özellikleri	107
7.8.2	Hidrojenin Kullanılma Yerleri ...	110
7.8.3	Güneş Enerjisi Kullanarak Suyun Ayrıştırılması	112
7.8.3.1	Işıkla Ayrıştırma	112
7.8.3.2	Görünür Işıkla Hidrojen Üretimi	113
7.8.3.3	Yüksek Sıcaklık	114
7.8.4	Hidridlere Depolama	116

7.9	Granüler Alüminyum	118
7.10	Suyun Geri Pompalanması	118
8.	DÜZLEM HAVA ISITICI	120
8.1	Giriş	120
8.2	Transfer Edilen Isıyı Arttırma Yolları	121
8.3	Düzlem Hava Isıtıcının Yapısı	123
8.3.1	Yutucu Yüzey ve Akış Koridor- ları	123
8.3.2	Saydam Örtüler	127
8.3.3	Yalıtım	127
8.3.4	Kasa	127
8.4	Düzlem Hava Isıtıcının Matematiksel Modeli	127
8.4.1	Isı Taşınım Katsayısı h nin bulunması	129
8.4.2	Kanatçıklı Hava Kollektörü bi- rimlerinin Enerji Dengesi Denklemleri	131
9.	ZEOLİT HAKKINDA GENEL BİLGİLER	135
9.1	Gözenekli Katılar	135
9.1.1	Gözenekli Katıların Sınıflandı- rılması	138
9.2	Adsorpsiyon	138
9.2.1	Adsorpsiyonun Oluşmasını Sağla- yan Kuvvetler	139
9.2.2	Fiziksel Adsorpsiyon ile Kimya- sal Adsorpsiyonun Karşılaştırıl- ması	141

9.2.3	Gözeneklerin Boyutlarına Göre	
	Adsorpsiyon Tabakaları	142
9.2.4	Mezogözenekli Katılarda Adsorpsiyon izotermi	142
9.2.5	Bir Katının Adsorplama Özellikleri	145
9.2.5.1	Özgül yüzey alanının Belirlenmesi	145
9.2.5.2	Özgül Gözenek Hacminin Belirlenmesi	146
9.2.5.3	Gözenek Boyut Dağılımının Belirlenmesi	146
9.2.6	Adsorpsiyon Türleri	147
9.2.6.1	Gaz veya Buharın Bir sıvı içinde Adsorpsiyonu	147
9.2.6.2	Gaz Veya Buharın Bir Katı yüzeyinde çok Tabakalı Adsorpsiyonu..	148
9.2.6.3	İkili Sıvı - Sıvı Karışımından Adsorpsiyon .	148
9.2.6.4	Bir Katının Bir Sıvıdaki Çözeltisinden Adsorpsiyon	148
9.2.6.5	Bir Çözelti Yüzeyinde Negatif Adsorpsiyon ...	149
9.3	Zeolitler	149

	<u>Sayfa</u>
9.3.1 Zeolit	149
9.3.2 Zeolitlerin Yapısal Özellikleri	150
9.3.3 Zeolitlerin Sınıflandırılması ..	151
9.3.3.1 Doğal Zeolitler	151
9.3.3.2 Yapay Zeolitler	151
9.3.4 Zeolitlerin Kullanım Alanları .	153
9.3.5 Türkiye' deki Doğal Zeolit yatakları	154
10. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ZEOLİTE DEPO EDİLMESİ.	156
10.1 Güneş Enerjisinin Zeolite Depo Edilebilirliğinin inceleneceği Sistem	156
10.1.1 Düzlem Hava Kollektörü.	158
10.1.2 Venturimetre	160
10.1.2.1 Venturimetre ile Akışkanın hızının ve de- bisinin ölçül- mesi	160
10.1.3 Fan/Kolon/İzole Edilmiş Ortam	163
10.1.4 Zeolit	164
TARTIŞMA VE SONUÇ	166
EK AÇIKLAMALAR A	167
EK AÇIKLAMALAR B	168
EK AÇIKLAMALAR C	169
EK AÇIKLAMALAR D	171

SİMGELER	173
KAYNAKÇA	175

GİRİŞ

Dünya üzerinde yaşamaya başladığı ilk çağlardan beri insanoğlu, yaşamını sürdürebilmesi için yapması gerekli işleri, önce sadece bedeniyle ve yaşadığı devirdeki hayvanlarla gerçekleştirdi. Sonra bu işlerinin yaşadığı yüzyıllardaki teknolojik durumuna göre daha konforlu, daha düzenli, (daha emniyetli) bir şekilde yapılmasını sağlamak için teknolojisini ve bilgisini geliştirdi.

Son yüzyılımızda yaşamamız için gerekli elektrik Hidroelektrik, Termik ve Nükleer enerji merkezlerinden, ısı enerjisi ve yine elektrik enerjisi fosil yakıtlardan (kömür, petrol, odun, v.b.) sağlanmaktadır. Isınmak için ayrıca odun ve tezek de yapılmaktadır.

Bu enerji kaynaklarının ekonomik olmamaya başlaması ve özellikle fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar, bu kaynakların rezervlerinin sınırlı olması ve her geçen yıl bunların kullanım miktarlarının artması belirli bir süre sonunda biteceğinin bilinmesi, insanoğlunu yeni enerji kaynaklarını aramaya, ve bu kaynaklardan yararlanılabilecek sistemler kurmaya yönelik çalışmaları hızlandırmaya itmiştir.

Bu kaynakların, önce mümkün olduğunca sonsuz ve sürekli olması enerji dönüşümleri esnasında çevreyi kirletmemesi ve ekonomik olması en çok arzu edilen faktörlerdir.

Bu kaynaklardan gelecek için en ümit verici olanı ve arzu edilen faktörleri içeren güneş enerjisidir. Ayrıca dalga, rüzgar, jeotermal enerji de diğer alternatiflerdir.

Bugün dünyada güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar, bu enerji kaynağının sürekli olmaması dezavantajına rağmen, kullanılabilirliğini sağlayan sistemleri bulmaya ve geliştirmeye yöneliktir.

Ben bu çalışmamda Eskişehir' de güneş enerjisinden yararlanılabiliyor, yararlanılamıyacağını inceledim. Ayrıca Güneş enerjisinin zeolite depolanması konusunu da işledim.

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Isı Aktarımı

Isı aktarımı üç şekilde meydana gelmektedir.

1. Isı iletimi,
2. Konveksiyon (ısı taşınımı),
3. Işıma

1.1.1 Isı iletimi

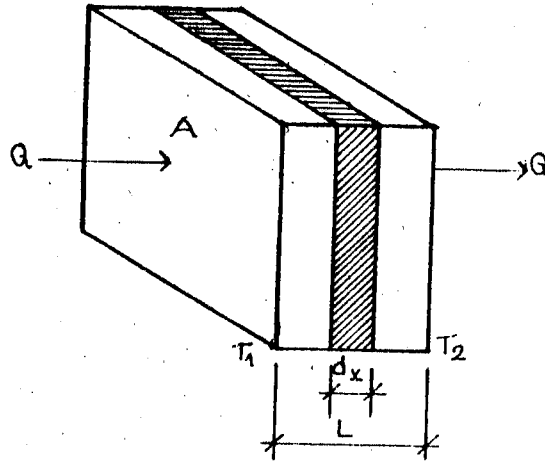
Isı iletimi, bir ortam (katı, sıvı, gaz) içerisinde bulunan bölgeler arasında veya doğrudan doğruya fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, atom ve moleküllerin farkedilebilir bir yer değiştirmesi olmaksızın bunların doğrudan teması sonucu meydana gelen ısı yayılımı işlemidir (7).

Termodinamiğin ikinci kanununa göre, ısı yüksek sıcaklıkta bulunan bir bölgeden düşük sıcaklıktaki bir bölgeye akar. Kinetik teoriye göre bir maddenin sıcaklığı, bu maddeyi meydana getiren moleküllerin veya atomların ortalama kinetik enerjileri ile orantılıdır. Kinetik enerjinin fazla olması iç enerjinin fazla olması demektir. Bir bölgede moleküllerin ortalama kinetik enerjisi, sıcaklık farkından dolayı bitişik bölgedeki moleküllerin ortalama kinetik enerjilerinden fazla ise, enerjileri fazla olan moleküller bu enerjilerini komşu olan moleküllere iletirler. Bu enerji transferi, akışkanlarda moleküllerin elastik çarpmaları, metallerde, serbest elektron-

ların yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklık bölgelerine yayılımı ile olur. Katılarda enerji transferi, elektron yayılımına ilaveten maddenin yapısını meydana getiren kafes titreşimleri ile de komşu bölgelere iletilir. Fakat bu son halde enerji transferi miktarı azdır. Bu sebepten iyi elektrik ileten iletkenler aynı zamanda iyi ısı iletkenleridir (7). Katı cisimler içerisinde ısı transferi genel olarak ısı iletimiyle olur. Şekil 1.1 de görüldüğü gibi L kalınlığındaki bir elemanın T_1 yüksek sıcaklığından daha düşük T_2 sıcaklığındaki bölgeye ısı iletimi

$$Q = \lambda A \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad 1.1$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 1.1

1.1 denklemindeki Q ; birim zamanda ısı akımı (Watt), A ; ısı akımına dik yüzey alanı, λ ; ısı iletim katsayısı, L ; levhanın kalınlığıdır. 1.1 denklemi ilk defa Fransız bilim adamı J. B. Fourier tarafından 1822 yılında ortaya atılmıştır. Bu yüzden Fourier ısı iletim denklemi olarak anılmaktadır. Ayrıca Şekil 1.1 deki dx birim kalınlığındaki eleman için Fourier denklemi diferansiyel formda

$$Q = - A \lambda \frac{dT}{dx} \quad 1.2$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin boyut analizi yapılacak olursa, $T(^{\circ}K)$, $A(m^2)$, $Q(Watt)$, $x(m)$, ısı iletim katsayısı λ (Watt/m $^{\circ}K$) dir.

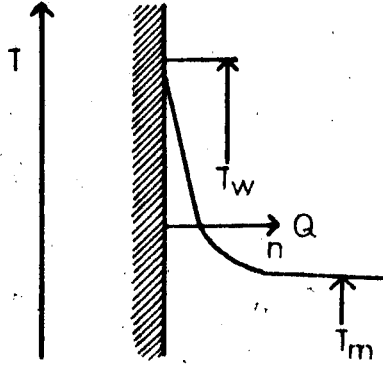
1.1.2 Konveksiyon (Isı taşınımı)

Konveksiyon, akışkan hareketi ile enerji taşınımı işlemidir. Ortam bir sıvı veya gaz ise, akışkan hareketi ile ısı enerjisi bir bölgeden diğer bir bölgeye sıcaklık farkından dolayı transfer edilecektir. Isı değıştirmeçlerinde akışkanlar, katı cisimler (yüzeyler) ile birbirlerinden ayrılmış olduklarından, konveksiyon, bir yüzey ile akışkan arasındaki enerji taşınımında en önemli ısı transferi mekanizmasıdır. Şekil 1.2 de görüldüğü gibi yüzey sıcaklığı T_w yüzey ile temasta bulunan akışkanın ortalama sıcaklığı T_m ise yüzey ile akışkan arasında birim zamanda ısı transferi

$$Q = hA(T_w - T_m)$$

1.3

ifadesiyle hesaplanır (7). Bu ifade 1701 yılında Newton tarafından verildiğinden Newton soğuma kanunu olarak bilinmektedir.



Şekil 1.2 Yüzeyde sıcaklık dağılımı (7).

1.3 denkleminde, $h(W/m^2 \cdot K)$; yüzey ısı transferi katsayısı (film katsayısı), T_m ; Bir kanal içerisindeki akışta akışkanın ortalama sıcaklığı ($^{\circ}K$), $A(m^2)$; sınır yüzey alanı, $T_w(^{\circ}K)$; yüzey sıcaklığı ve $Q(Watt)$; katıdan akışkana transfer edilen ısı miktarıdır.

Eğer akışkan hareketi uygulanan basınç farklarından meydana geliyorsa, (örneğin ısıtılan bir borudan pompa ile akışkan devredilmesi v.b. gibi) Zorlanmış konveksiyondan, akışkan hareketi yoğunluk farklarından ve yer çekimi gibi etkilere oluyorsa doğal konveksiyondan bahsedilir.

1.1.3 Işıma

Bir cisim meydana getiren elementer taneciklerin ısı hareketi, elektromagnetik ışıma şeklinde enerji yaymalarına neden olur. Sıcaklığın artması, tanecik-

lerin hareketini ve dolayısıyla ısıma şiddetini arttırır. Bu şekilde maddenin sıcaklığı sonucu yayımlanan ısı ısıma aslında radyo dalgaları, ışık, x - ışınları ile aynı tipte olup, yalnız dalga boyları farklıdır. Bu cisimler bu yapılan ısıma enerjisini soğurur, bazıları yansıtır, Bazıları da içlerinden daha serbestçe geçmelerine müsaade ederler. Yalnız mükemmel bir boşluktan serbestçe geçerler. Yapılan bu enerji dalgaları soğurgan başka bir ortama tesadüf ettiklerinde enerjilerini bu ortama transfer ederek, bu ortamın ısı hareketlerini arttırırlar. Böylece ısı enerjisi, yayımlanan sistemden, ısımayı soğuran sisteme transfer edilmiş olur. Sistemlerden birinin sıcaklığı azalırken diğerinin sıcaklığı artar. Bütün cisimler sürekli olarak ısı ısıma yayımlar. ısıma şiddeti, yüzey sıcaklığına ve yüzeyin özelliğine bağlıdır. Böylece yüksek sıcaklıktaki bir sistemden alçak sıcaklıktaki bir sisteme, bu iki sisteme uzayda birbirleriyle temas durumunda olmaksızın meydana gelen ısı akımı işlemine ısıma ile ısı transferi denir.

İdeal bir ışıyıcıdan (kara cisim) toplam ısı ısımayı veren eşitlik 1879 da Stefan tarafından ampirik olarak verilmiş ve 1844 de Boltzman tarafından termodinamiğin birinci yasasından hareket edilerek teorik olarak elde edilmiştir.

$$Q_r = A \sigma T^4$$

Bu ifade Stefan - Boltzman ısı ışıma yasası adını alır. Burada Q_r : saatte ışıma yolu ile A yüzeyinden yayılan ısı,

T : yüzeyin mutlak sıcaklığı ($^{\circ}\text{K}$),

σ : Stefan - Boltzman sabiti

($4.96 \cdot 10^{-8} \text{kcal/m}^2 \text{hK}^4$ $5.67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$)

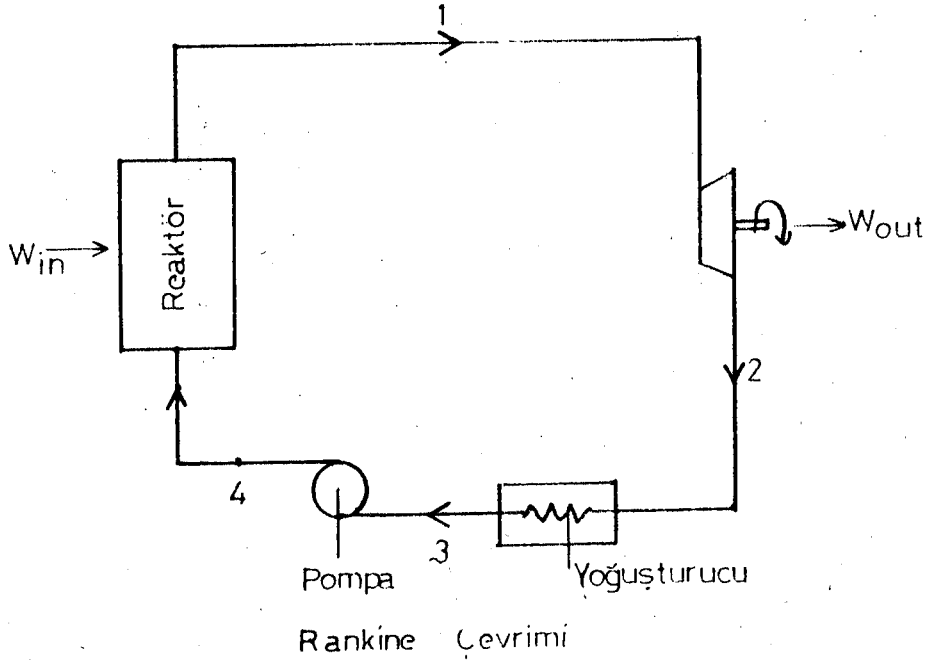
Bu kara cismin yayımlama gücü, $E_b = \sigma T^4$ olarak tarif edilir (7).

1.2 Isıl Çevrimler

Isı enerjisini mekanik enerjiye çevirmek için kullanılan çevrimler ısı ısı çevrimler olarak adlandırılır. Çevrimlerde kullanılan akışkan sıvı ise, Rankine çevrimi, gaz ise Brayton çevrimi olarak adlandırılır.

1.2.1 Rankine çevrimi

Bu çevrimde akışkan olarak yukarıda da belirtildiği gibi sıvı kullanılmaktadır. Şekil 1.3 de gösterildiği gibi akışkana reaktör bölgesinde enerji aktarılarak, akışkan buhar hale geçmekte buradan türbine gönderilerek türbinin dönmesi sağlanmakta, yani mekanik enerji elde edilmekte, buradan yoğunlaştırucuya gelen akışkan tekrar sıvı hale getirilerek (yoğurturularak) pompa ile yeniden reaktör bölgesine gönderilmektedir. Bu işlem sürekli tekrarlanmaktadır.



Şekil 1.3 Rankine çevrimi

Çevremin ısı verimi

$$\eta_t = \frac{W_n}{Q_H} \quad 1.5$$

dır. Burada W_n çevrimin yaptığı net iş, Q_H sisteme verilen enerjidir. 1.5 denkleminde

$$W_n = W_t - W_p \quad 1.6$$

$$W_t = h_1 - h_2 \quad 1.7$$

$$W_p = (P_4 - P_3) V_f \quad 1.8$$

$$Q_H = h_1 - h_4 \quad 1.9$$

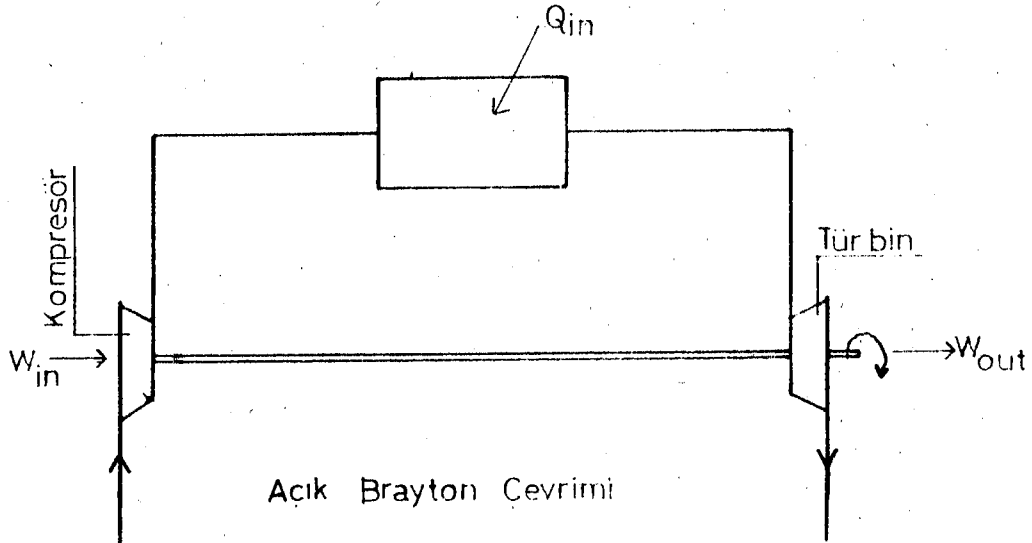
dur. 1.5 denkleminde, 1.7 ve 1.8 denklemleri yerine konacak olursa çevrimin termal verimi

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) - (P_4 - P_3) V_f}{h_1 - h_4} \quad 1.10$$

şeklinde yazılabilir.

1.2.2 Brayton çevrimi

Akışkan olarak gazların kullanıldığı çevrim türüdür. Açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere iki türüdür. Şekil 1.4 ve 1.5 de sırasıyla açık Brayton çevrimi ve kapalı Brayton çevrimi gösterilmiştir.



Şekil 1.4

Kapalı Brayton çevriminin verimi

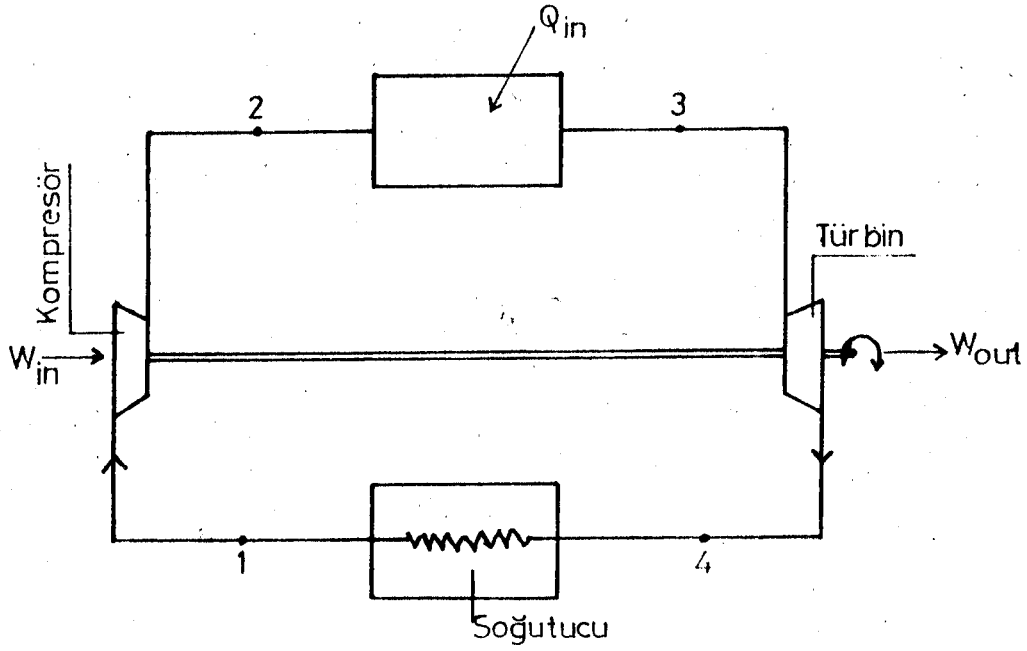
$$\eta = 1 - \frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \quad 1.11$$

veya sıcaklığa bağlı olarak

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

1.12

şeklinde verilebilir.



Kapalı Brayton Çevrimi

Şekil 1.5 Kapalı Brayton çevrimi

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş $1.4 \cdot 10^6$ Km çapında, güneş sistemindeki tüm maddelerin % 99.8 ini kapsayan bir hidrojen toparlağıdır. Güneşin merkezinde hidrojen çekirdekleri kaynaşarak (Fusion), Helyum çekirdeğini oluştururlar. Ürün çekirdek, kendisini oluşturan çekirdeklerin toplamından (kütle olarak) daha küçüktür. Bu kütle farkı Einstein'ın $E = \Delta mc^2$ bağıntısına göre enerjiye dönüşür. Güneşin merkezinde sıcaklık $14 \cdot 10^6$ °C ve her saniye $4 \cdot 10^6$ ton hidrojen, helyuma dönüşmektedir. Güneşin yaydığı enerji 380 trilyar KW lık elektrik gücüne eşit olup hidrojen rezervi daha 4 milyar yıl için yeterlidir.

2.1 Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesabında daha çok atmosfer dışında yatay düzleme gelen ışıınımdan yararlanılır. Atmosferin dış yüzeyine gelen güneş ışıınımlı şiddeti 1353 W/m^2 dir. Bu güneş sabiti olarak da bilinmektedir.

Güneş ışıınımlı atmosferi geçerken, atmosferde bulunan parçacıklar (molekül, toz, v.s.) tarafından yutulur ve saçılır, böylece azalarak atmosfer dışına gelen ışıınımlı % 10 ile % 80 arasında bir kesri yeryüzüne ulaşır. Doğrudan yeryüzüne gelen kısma "direkt güneş ışıınımlı", saçılan ışıınımların yeryüzüne gelen kısmına " yayıllı (Diffuse) güneş ışıınımlı " adı verilir. Direkt ve yayıllı güneş ışıınımlı pratik olarak

0.3 - 3.0 m dalga boyu aralığında olduğundan buna " kısa dalga boylu ışınlım " da denir. Direkt ve yayılı ışınlımların toplamı " tüm güneş ışınlımı" olarak bilinir (14).

2.2 Güneş Enerjisinin İlk Uygulamaları

Güneş ışınlımı asırlardan beri yeryüzüne geldiği halde bilinçli olarak faydalanılmaya başlanması oldukça yenidir. Kaynaklara göre, ilk defa Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere koyarak güneş ışığının içeri girmesini ve kuzey tarafını yüksek yaparak rüzgarın önlenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Arschimed' in (M.Ö. 250) iç bükey aynalarla güneş ışığını odaklıyarak Siraküza' yı kuşatan gemileri yaktığı iddia edilmektedir. Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar 1600 yılında Galile' nin merceği bulmasıyla artmıştır.

İlk defa Fransa' da, 1725 yılında, Belidor tarafından güneş enerjisiyle çalışan bir pompa yapılmıştır.

Fransız bilim adamı Mouchot 1860 da parabolik aynalar yardımıyla güneş ışınlımını odaklamış ve küçük bir buhar makinası yapmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deneyler yapmıştır.

Shuman ve Boys, 1913 de parabolik aynalar yardımıyla bir buhar üreticisi yapmışlar ve bundan

faydalananarak Nil Nehrinden su çeken 50 BG ndeki su pompasını çalıştırmışlardır.

Birinci Dünya Savaşı ve sonrasında petrolün önem kazanmasıyla güneş enerjisine yönelik çalışmalar araştırma düzeyinde kalmıştır. 1930 yılından sonra pasif sistemlerle ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmışsa da araştırma kurumlarının dışına çıkamamıştır.

Güneş enerjisinin önem kazanması daha çok 1973 deki Dünya Enerji krizi ile olmuştur. Günümüzde, güneş enerjisinden birçok alanda yararlanılmakta ve her geçen gün faydalanma alanı artmaktadır.

2.3 Kirchoff Kanunu

Belli bir dalga boyundaki ışınlım için mono kromatik yutma, monokromatik yaymaya eşittir ve kirchoff kanunu ile belirtilir (16).

$$\epsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \quad 2.1$$

Yutma, geçiş ve yansıma toplamı bire eşittir.

$$\alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1 \quad 2.2$$

2.4 Planck Kanunu

Işınım spektrumu, dalga boyuna bağlıdır ve enerji dağılımı planck denklemi ile gösterilir.

$$q_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{(C_2/\lambda T)} - 1}$$

2.3

Bu denklemde, q_{λ} , belirli dalga uzunluğu, λ , için monokromatik ışınlam enerjisini ifade eder.

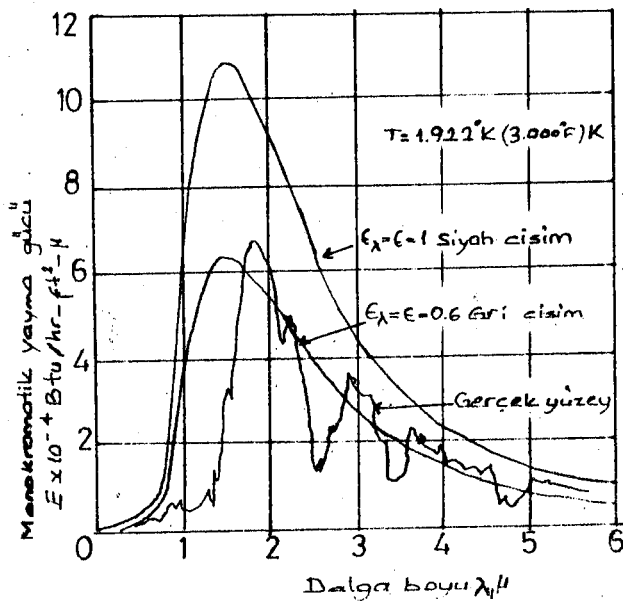
2.5 Wien Kanunu

Planck denklemindeki q_{λ} değerinin λ ya göre grafiği çizilirse, bir tepe noktası olan bir eğri çıkar. En yüksek enerjiyi ifade eden tepe noktası, belirli bir dalga uzunluğu içindir. Maksimum enerjiyi veren dalga boyu Wien denklemi ile açıklanır.

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

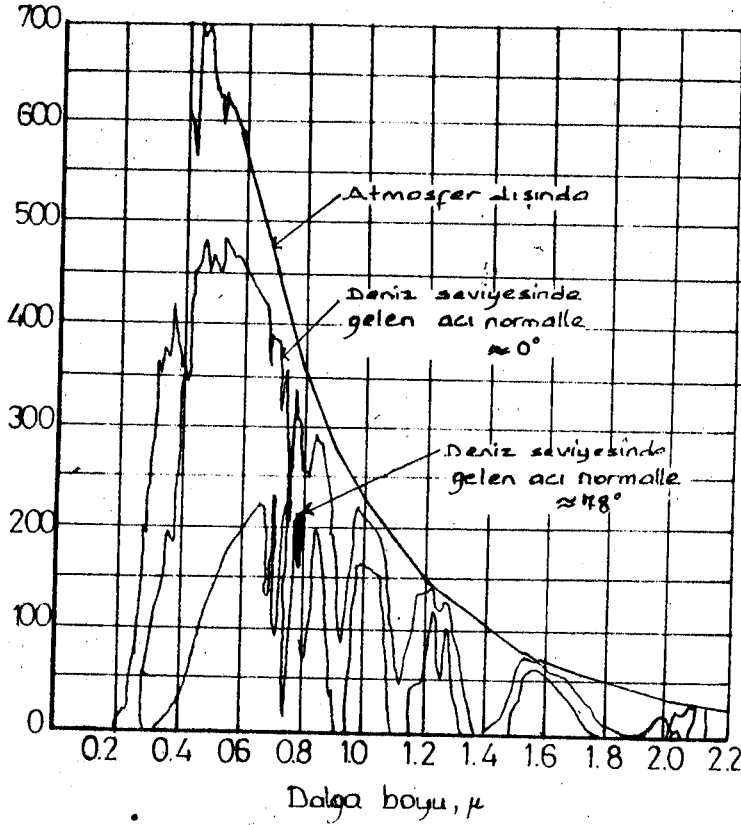
2.4

Şekil 2.1 de ideal siyah cisimlerin ve gri cisimlerin gerçek bir yüzeyle yayma gücünün karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 2.1

Şekil 2.2 den görüldüğü gibi dünyanın yüzeyine gelen güneş ışınımı ideal bir gri cisim ışınımına benzemez. Enerjinin dağılımı atmosfer dışında iken daha ziyade ideal bir örneği andırır.



Şekil 2.2

3. GÜNEŞ ENERJİSİNİN DÖNÜŞÜMÜ

Daha önceki bölümlerde güneş enerjisinin doğası anlatıldı. Buna göre güneş enerjisinin bu potansiye-
lini, yaşadığımız dünya' da yararlanabileceğimiz şekle
nasıl dönüştürebiliriz?

Bu bölümde güneş enerjisini kullanan sistemler
incelenecektir.

Güneş enerjisinin dönüşümü aşağıda ifade edilen üç
ayrı şekilde olabilir.

1. Güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisi-
sine dönüştürülmesi,

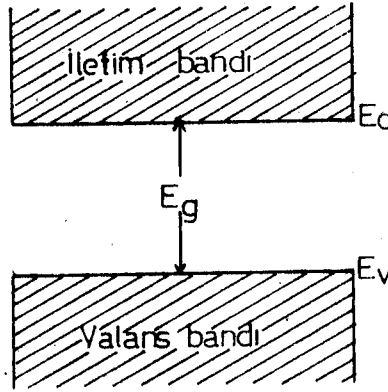
2. Güneş enerjisinin önce ısı enerjisine,
sonra elektrik enerjisine dönüştürülmesi,

3. Güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüştü-
rülmesi,

Şimdi bu dönüşümler ayrı ayrı daha ayrıntılı bir
şekilde incelenecektir.

3.1 Güneş Enerjisinin Doğrudan Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi

Güneş ışınlarının doğrudan elektrik enerjisine
dönüştürülmesi, güneş pilleri ile sağlanmaktadır.
Güneş pilleri de yarı iletken maddelerin p-n Ek-
leminden oluşurlar. Yarı iletken maddelerin enerji
bant diyagramından (Şekil 3.1) görüldüğü gibi va-
lans bandı ile iletim bandı arasındaki yasak ener-
ji aralığı 1 eV civarındadır. Tablo 3.1 de bazı yarı
iletkenlerin yasak bant aralıkları verilmektedir.



Şekil 3.1 Yarı iletkenlerin enerji bant diyagramı

Yarı iletken	Yasak bant aralığı (eV)
Si	1.1
Ge	0.72
GaAs	1.34
CdTe	1.4
InSb	0.18
CdS	2.45

Tablo 3.1 Bazı tipik yarı iletkenlerin yasak bant aralığı

3.1.1 Yarı iletkenlerin güneş enerjisi ile ilişkisi

Yarı iletkenlerin yasak enerji aralığının 1 eV civarında olduğu daha önce belirtilmişti.

Güneş enerjisini oluşturan fotonların enerjileri

$$E = h \cdot f$$

veya

$$E = h \cdot c / \lambda$$

ile ifade edilmektedir.

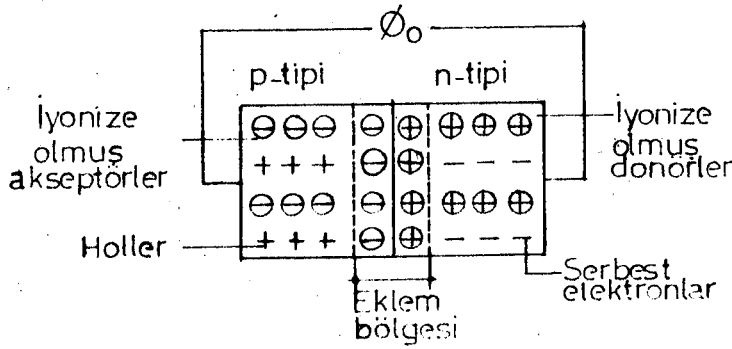
Görünür ışığın dalga boyu, $4000 \text{ \AA}$ ile $7000 \text{ \AA}$ arasında değişmektedir. Bu aralıktaki dalga boyunun karşılığı eV cinsinden denklem 3.1 den hesaplanacak olursa bu değer yarı iletkenlerin enerji bant aralığına karşılık geldiği görülür. O halde yarı iletken maddelerde bir takım düzenlemeler yapılarak (p-n eklemi) güneş enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

3.1.2 Yarı iletken güneş pillerinin çalışma prensibi

Yarı iletken güneş pillerinin çalışma esası fotovolttaik dönüşümlere dayanır. Fotovolttaik olay iki aşamada meydana gelir. Bunlar, birer taşıyıcı yük çifti olan elektron - hol çiftinin oluşturulması ve bu yük çiftlerinin birbirinden ayrılması olayıdır. Bir cihazın güneş pili olarak kullanılabilmesi için en az iki özelliğe sahip olması gerekir. (i) Cihazın üzerine gelen ışınların cihaz tarafından absorplanması, (ii) Absorplanan ışınların bir kısmı tarafından oluşturulan, taşıyıcı yük çiftlerinin birbirinden ayrılmasını sağlayacak temel bir elektrik alanının olmasıdır.

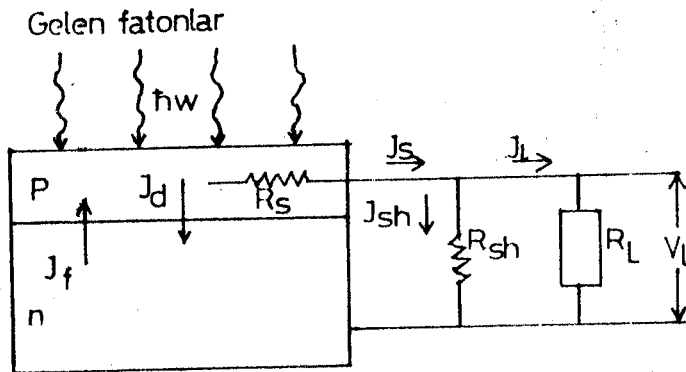
p-n eklemli fotovolttaik güneş pilleri ile elektrik elde etmek için pil üzerine gelen ışınlar eklem bölgesine veya bu bölgenin yakınına düşürülmelidir. Şekil 3.2 de p-n eklemi gösterilmektedir. Çünkü eklem bölgesinden uzak bölgelerde ışınların etkisiyle oluşan yük çiftlerinin tekrar birleşmele-

rinden dolayı meydana getirecekleri akımların foto akıma herhangi bir katkısı olmaz.



Şekil 3.2 p-n eklemının şematik gösterimi

Fotovoltaik güneş pilleri, absorplanmış fotonların meydana getirmiş olduğu akımı geçirecek yönde olan bir diyod üzerine paralel bağlanmış sabit bir akım kaynağı gibi davranır. Fotovoltaik güneş pilleri daima ileri yönde beslenmiş bir p-n eklem diyonu gibi çalışır. Şekil 3.3 de p-n eklemli güneş pilinin şematik gösterimi görülmektedir (10).



Şekil 3.3 p-n eklemli güneş pilinin şematik gösterimi

Elektronların ve hollerin meydana getirdikleri akım yoğunluklarının toplamına eşittir.

3.1.3 Güneş pillerinin verimi

Güneş ışığından kullanılacak elektrik enerjisi olarak kazanılan enerjinin gerçekten mevcut enerjiye olan yüzdesine verimlilik randımanı denir. Her türlü fotoelektrik hücrede bu yüzde ölçüsü onun verimini gösterir. Bunun matematiksel ifadesi

$$\eta = \frac{P_g}{P_g} \quad 3.2$$

veya

$$\eta = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc}}{H \cdot A} \quad 3.3$$

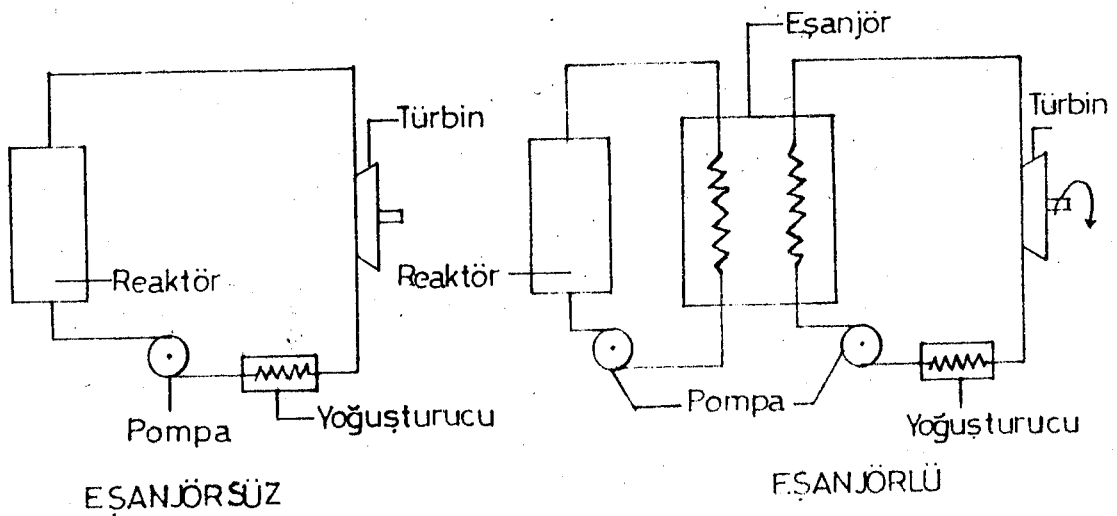
Denklem 3.2 deki P_g güneş pilinin çıkışından alınan güç, P_g pil üzerine gelen güneş enerjisinin gücüdür. Denklem 3.3 de ise, I_{sc} pilin kısa devre akımı (Amper), V_{oc} açık devre Voltajı (Volt), H güneş pili üzerine gelen güneş ışınımı şiddeti (W/m^2), A da güneş pilinin alanıdır (m^2).

En verimli silikon hücrelerinde bu % 13-14 arasındadır. Yani % 85-87 miktarındaki güneş enerjisi, ısı enerjisi olarak boşa gitmektedir. İleride yapılacak araştırmalarda güneş pillerinin verimliliğinin arttırılması mümkün olsa da, pratik bakımından bunun sınırları vardır. Araştırmacılar verimin hiç bir zaman % 16 dan fazla artamayacağını belirtmektedirler. Şimdiye kadar en

fazla verimli bulunan güneş pili % 21 verimliliği olan GaAs dir. Fakat bu da çok pahalıdır.

3.2 Güneş Enerjisinin Önce Isı Enerjisine Sonra da Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi

Isı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi Nükleer, Jeotermal ve termik santrallerde olduğu gibi buhar çevrimi ile sağlanmaktadır. Şekil 3.4 deki termik çevrimde görüldüğü gibi enerji kaynağı olarak nükleer yakıt kullanılırsa, Nükleer Santral, fosil yakıtlardan birisi kullanılırsa Termik Santral, bu ısı yeraltındaki sıcaklığı yüksek olan bölgelerden sağlanırsa Jeotermik Santral adını almaktadır. Enerji kaynağı akışkanı buhar üretilen bölgede (Reaktör) 300°C den daha yüksek sıcaklıklara çıkarmalıdır ki buhar çevrimiyle türbin çalıştırılarak elektrik enerjisi elde edilebilsin. Bu gün güneş enerjisinden dolayı olarak büyük çapta elektrik enerjisi elde etme çalışmaları buhar çev-



Şekil 3.4 Buhar çevrimi (Rankine çevrimi)

rimiyle elde etmeye yöneliktir. Enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanıldığı reaktör bölgesine 30-50 konsantrasyon faktörü ve 300°C sıcaklıkla çalışan parabolik kollektörler veya 400-1000 konsantrasyon faktörü ve 500°C sıcaklıkla çalışan " Heliostat " adı verilen aynalar sistemi konulursa, buna GÜNEŞ ENERJİ SANTRALI adı verilir. Bu santrallarda ısı taşıyıcısı olarak su, hava, helyum, sodyum ve diğer bazı maddelerden yararlanılmaktadır. Isı eşanjörü kullanıldığı durumlarda yüksek sıcaklıklarda buhar haline dönüşmeyen akışkan tercih edilmelidir.

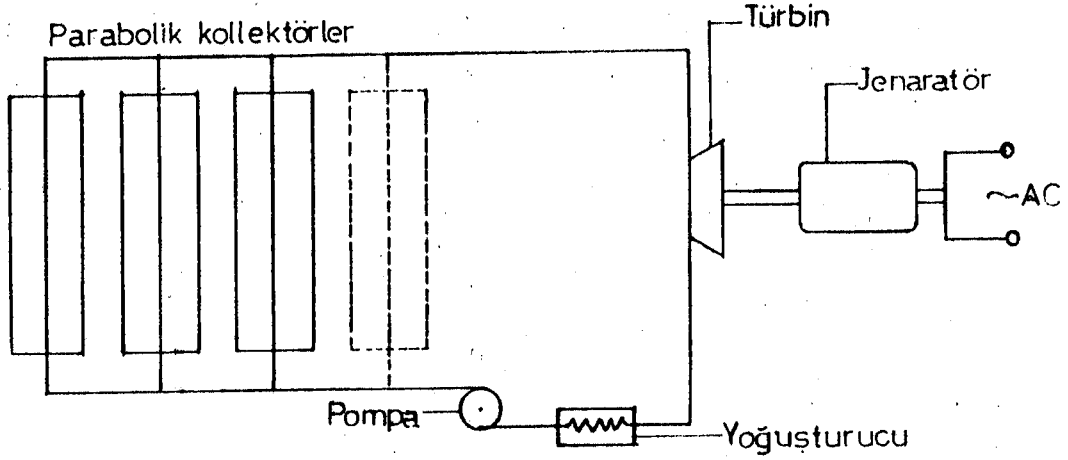
Kollektör sistemi ve ısı akümülatörü (toplayıcısı) bir yana bırakılırsa, güneş santralının diğer klasik termik santrallardan bir farkı yoktur. Dolayısıyla güneş santralleri de randımanları açısından termik santrallerle karşılaştırılabilir.

Yukarıda da belirtildiği gibi güneş enerjisiyle elektrik enerjisinin dolaylı olarak elde edilmesi iki popüler sistemle sağlanmaktadır.

3.2.1 Parabolik toplaçlı güneş santrali

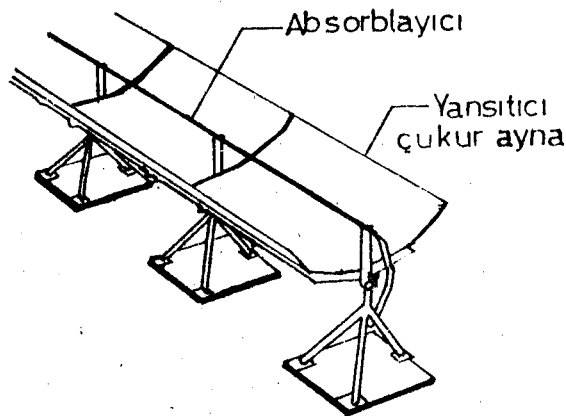
Bu sistem Şekil 3.5 de gösterildiği gibi, kollektör sistemi dışında buhar çevrimine benzemektedir. Kollektör tipi de Şekil 3.6 da gösterilmiştir. Akışkan, Şekil 3.6 da görüldüğü gibi, parabolik toplacın odak noktasına, lineer olarak yerleştirilmiş boruların içinden sirküle edilmektedir. Burada, güneş ışınlarının odak noktasında toplanmasıyla, enerji

yoğunlaştırılmakta ve bu enerji borunun içindeki akışkana iletim yoluyla aktarılmakta ve akışkan çok yüksek sıcaklıklara çıkmaktadır.



Şekil 3.5 Parabolik toplaçlı güneş santralinin şematik gösterimi

Isı eşanjörü kullanılmadığı durumlarda akışkan olarak su kullanılabilir. Su buharlaştıktan sonra türbini döndürür. Çevrimi tamamlamak için yoğusturulur, sonra da pompa ile tekrar parabolik toplaçlara gönderilir.



Şekil 3.6 Parabolik toplaç

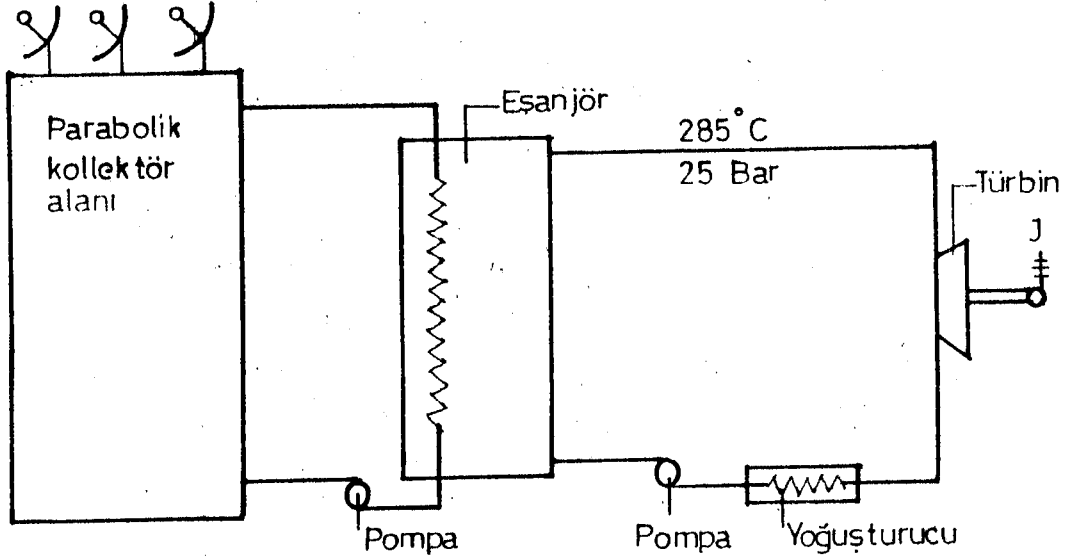
Çevrim bu şekilde devam ettirilir. Böylece elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olur.

Bu sistemin denenmesi ve proje değerlerini, uygulamada elde edilecek sonuçlarla karşılaştırmak amacıyla, Uluslararası Enerji Örgütü I.E.A., Güney İspanya' da Almeira yakınında Costa del Sol' da SSPS (Small Solar Power System) adını taşıyan bir girişimde bulunmuşlardır. Bu proje iki değişik tip güneş santralini kapsamaktadır. İkinci tip güneş santrali bundan sonraki bölümde incelenecektir.

SSPS projesine göre parabolik toplaçlı sistemde güneş enerjisi arka arkaya bağlanmış parabolik toplaçların yaklaşık 0.6 m uzaklıktaki odak çizgisi üzerinde yerleştirilmiş bulunan bir boruda toplanacaktır. Toplanan ısınnın iletimi ve elektrik enerjisine dönüştürülmesi uç safhada gerçekleşmektedir. Isı taşıyıcı madde (termoyağ HT43) toplaçlardan geçerek 295°C ye ısındıktan sonra ısını bir buhar üreticiye vererek 225°C ile akümülatör tankına dönmektedir. Üretilen buhar 285°C ve 25 bar basınç ile buhar türbinini çalıştırarak soğuduktan sonra buhar üreticide tekrar devreye girmekte ve türbinin işlettiği jeneratör elektrik üretimini sağlamaktadır. Bu sistemin şematik gösterimi Şekil 3.7 de gösterilmiştir

Sistemin ısı deposu, yüksekliği 15 m ve çapı 5 m olan bir silindir şeklindedir. Tablo 3.2 de verildiği üzere, tesisin ısı depolama kapasitesi

800 kWh ve net gücü 500 kW dır. Sistemin net verimi % 10.1 dir. Kollektör alanında hem bir eksen (Acurex 3001 modeli) ve hem de iki eksen (M.A.N. modeli) etrafında hareket edebilen kollektörler denenmektedir.



Şekil 3.7 Almeida projesine ait parabolik toplaçlı güneş santralının şematik gösterimi

3.2.2 Kule tipi güneş enerji santralleri

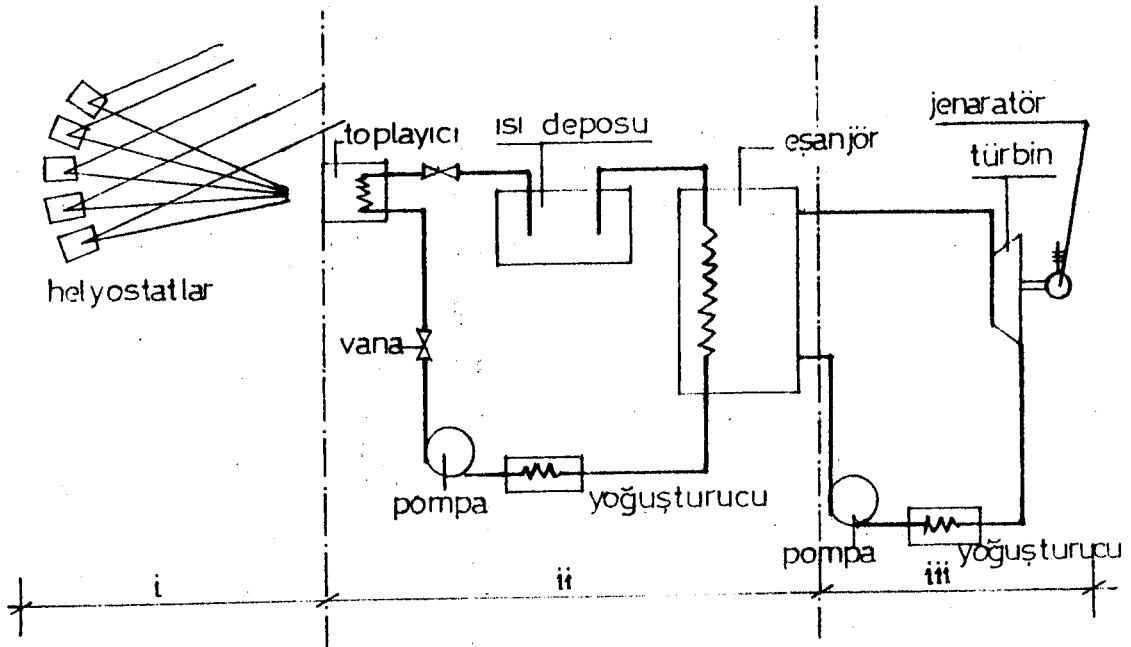
Güneşli bilgisayarlarla otomatik olarak izleyen ve tesisin gücüne göre değişen sayıda seçilen yüzlerce heliostat üzerine düşen ışınlar merkezi bir toplayıcıda odaklanmaktadır. Toplayıcı belli bir yükseklikte inşa edilen kulenin üzerine yerleştirilmektedir (15). Bilgisayarlarla yönetilen motorlar iki eksen üzerinde döneabilen ayna sistemlerini güneşin seyrine uygun olarak hareket ettirir. Lazer ışınlarının

Yansıtıcı alanı	5362	m ²
Toplayıcıya giriş	225	°C
Toplayıcıdan çıkış	295	°C
Eşanjöre giriş	295	°C
Eşanjörden çıkış	225	°C
Kızgın buhar sıcaklığı	285	°C
Kızgın buhar basıncı	25	bar
Toplam ışınlam gücü: P_1	4933	kW
Isısal güç: P_2	2580	kW
Toplam elektrik gücü: P_3	577	kW
Net elektrik gücü: P_4	500	kW
Verimler: P_3/P_2	0.224	
P_4/P_2	0.194	
P_4/P_1	0.101	

Tablo 3.2 Almeria projesine ait parabolik toplaçlı güneş santralinin karakteristik özellikleri

yardımıyla heliostat sisteminin aynaları 2.5 mm lik bir duyarlılıkla ısı toplayıcı odak noktasına doğru yön alırlar. Aynalar üzerlerine düşen güneş ışınlarını yansıtarak kuledeki ısı toplayıcısına odaklarlar. İdeal koşullar altında kulenin üzerindeki " sıcak benek " 2300°C ye kadar sıcak olmaktadır (15). Toplayıcı içine yerleştirilen borulardan akan uygun bir sıvı, bu ısıyı alır ve eşanjöre götürür. Burada buhar veya uygun bir gaz potansiyel enerji depo edilir. Daha sonra bu buhar veya gaz turbo jeneratör

grubu vasıtasıyla elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanılır (15). Kule tipi güneş santrali 3.8 de görülmektedir. Pekçok projede iş gören madde ya su ya da gazdır. 200°C ye kadar sıcaklık gerektiren uygulamalarda su tercih edilmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda, yüksek basınçtan dolayı, suyun kullanılması tehlikeli ve pahalı malzeme gerektirdiğinden kullanılmamaktadır. Gazların (hava, hidrojen, helyum ve benzeri) ısı transfer maddesi olarak kullanıldığı tesislerde 1100°C ye varan sıcaklıklara erişilmektedir. Son günlerde ergimiş tuz ve ötektik (Eutectic) karışımları ile sıvı metallerin, bilhassa sodyum, ısı transfer maddesi olarak seçildiği görülmektedir.



Şekil 3.8 Kule tipi güneş enerji santralinin şematik gösterimi

Şekil 3.8 de görüldüğü gibi, ısı akış ve ısı dönüşüm şemasında üç alt sistem bulunmaktadır.

- i) Yansıtıcı alanı; güneş kulesinin etrafında belli bir düzene göre yerleştirilmiş bulunan yüzlerce heliostatdan meydana gelmektedir. Bilgisayarlar aracılığı ile her heliostat otomatik olarak güneşi izlemektedir,
- ii) Depolama ve ısı transfer sistemi; güneş kulesi ile toplayıcı, ısı depolama tankları pompalar, vanalar ve eşanjörden meydana gelmektedir. Kule tepesindeki toplayıcı belli bir açıklığı (aperture) olan ve oyuk (cavity) adı verilen bir modele göre incelenmektedir. Oyuk modelinde: heliostatların yansıttığı güneş ışınlarının toplayıcı açıklığından içeri girdikten sonra geri yansıtma yapmadığı, oyuk duvarlarının aynı sıcaklıkta olduğu, yani tüm toplayıcı duvarlarının ısısal açıdan dengede bulunduğu kabul edilmektedir.
- iii) Güç dönüşüm sistemi; türbin, jeneratör, yoğunlaştırıcı, pompa ve vanalardan meydana gelmektedir (15).

Kule tipi güneş enerji santralleri, parabolik topaçlı güneş enerji santrallerine göre, daha yüksek güç kapasitesine sahiptir. Bu tesislerle ilgili olarak, A.B.D., Batı Avrupa ülkeleri ve Japonya' da işletmeye açılmış, veya projeleri bitirilmiş veyahut da proje çalışmaları yapılan 18 adet kule tipi güneş enerji santrallerinin öngörülen güçleri Tablo 3.3 de verilmiştir.

No	Adı	Güç (MW)	Ülke
1	Odeillo	1	Fransa
2	Francia	0.1	İtalya
3	Francia	0.4	A.B.D
4	Albuquerque	5	A.B.D
5	Sicilya	1	İtalya
6	Almeira	0.5	İspanya
7	Shikoku	1	Japonya
8	Themis 1	2	Fransa
9	Ceca 1	1	İspanya
10	EPRI	2.5	A.B.D
11,	DOE - Barstow	10	A.B.D
12	İnteratom	20	F. Almanya
13	-	60	A.B.D
14	-	-	F. Almanya
15	-	-	A.B.D
16	-	-	A.B.D
17	-	-	A.B.D
18	-	-	A.B.D

Tablo 3.3 Dünya'nın bazı ülkelerine ait kule tipi güneş enerji santrallerinin öngörülen güçleri

Kule tipi güneş enerji santrallerinin en pahalı ünitesini heliostatlar oluşturur. 1975 yılına göre heliosatat fiyatları 1600 DM/m^2 idi. 1990 yılında bunun 400 DM/m^2 ye kadar düşürülmesine çalışılmak-

tadır. Böylece Avrupa Ülkelerinde 60 MWe, A.B.D de ise 100 MWe gücünde güneş enerjisi güç tesislerinin, 1995 yılına doğru ekonomek ve ticari açıdan gerçekleştirilebileceğine kesin gözüyle bakılmaktadır.

İspanya' nın Almeira kasabasında ekonomik ve teknik sonuçlarını incelemek amacıyla, böyle bir sistem denenmektedir.

3.2.2.1 Almeira projesi

Bu sistem anahatlarıyla, Şekil 3.8 de gösterildiği gibidir. Fakat ısı taşıyıcı akışkan olarak, 500 - 800°C arasında çok iyi ısı iletim davranışı gösteren sıvı sodyumun kullanılması tercih edilmiştir.

Almeira projesine ait ana parametreler Tablo 3.4 de verilmiştir. Tablo 3.4 ün incelenmesinden görüleceği üzere, tesisin net verimi % 14,1 civarındadır.

Yansıtıcı alanı	4000 m ²
Toplayıcıya giriş sıcaklığı	270°C
Toplayıcıdan çıkış sıcaklığı	530°C
Eşanjöre giriş sıcaklığı	525°C
Eşanjörden çıkış sıcaklığı	275°C
Kızgın buhar sıcaklığı	510°C
Kızgın buhar basıncı	100 bar
Toplam ısıtım gücü: P_1	3675 kW
Isısal güç: P_2	2283 kW
Toplam elektrik gücü: P_3	600 kW
Net elektrik gücü: P_4	517 kW
Verimler: P_3/P_2	0.26

P_4/P_2	0.23
P_4/P_1	0.14

Tablo 3.4 Almeira projesine ait ana parametreler

Almeira' daki SSPS projesinde olduğu gibi benzer tesislerde, termik çevrim olarak Rankine çevrim kullanılmaktadır. Termik çevrim olarak Brayton çevriminin kullanıldığı sistemlerde vardır. Bu sistemlerden bir kaçı aşağıda açıklanmıştır.

3.2.2.2 İnteratom projesi (Federal Almanya)

Bu güneş enerji santralinin öngörülen gücü 20 MWe dir. Isı taşıyıcı akışkan olarak hava seçilmiştir. Esas itibarıyla, tecrübe elde etmek amacıyla kurulan prototip tesiste, şimdiki haliyle, güneş ışı-nımı şiddetinin kararsızlık gösterdiği veya hiç bulunmadığı zamanlarda (telafi amacıyla) fosil ve akar-yakıt kaynaklarının kullanıldığı depolama altsisteminin devreye girmesi öngörülmektedir.

Projenin ana amaçlarından biri, hava ile soğut-malı açık ve kapalı çevrimli gaz türbinleri üzerin-deki tecrübeleri geliştirmek ve sonuçları karşılaştı-r-maktır (45).

Bu sistemde kuru hava türbine 1000°C sıcaklıkta ve 8 bar basınçta girmektedir. Kompresörün atmosferden emdiği hava sıkıştırılarak basıncı 8 katına çıkarıl-maktadır. Sistemin verimi % 35 - 36 civarındadır. Artık ısı enerjisinin değerlendirilmesiyle bu değerin % 40 a ka-

dar yükselebilmesi beklenmektedir. Kapalı hava çevrimi kullanıldığında ise, çevrimin verimi % 37.8 civarındadır.

Bu projede 107000 m^2 civarında heliostat alanı kullanılmaktadır. Bu rakam ışınım şiddetinin 0.96 kW/m^2 olması haline göre hesaplanmıştır. Heliostatların her birinin alanı yaklaşık 40 m^2 dir ve yüzeyleri 3 mm kalınlık ta cam tabaka ile kaplanmıştır. Heliostatlar bilgisayarlar ile otomatik olarak gneşı izlemektedirler. Toplayıcının yerleştirildiği güneş kulesinin yüksekliliği 200 m dir. Tesisin kapladığı toplam alan $4.8 \cdot 10^5 \text{ m}^2$ civarındadır. Başka bir deyişle, tesis 800 m çapında bir sahaya dağılmıştır. Bu rakamlara göre yaklaşık $25 \text{ m}^2/\text{kW}$ lık bir alan kullanılmaktadır. Ayrıca alan kullanma faktörü (heliostat alanları toplamının tesisin toplam alanına oranı) yaklaşık olarak % 22 dir.

3.2.2.3 Boeing engineering projesi

Boeing engineering firmasının yaptığı bu projede ısı taşıyıcı akışkan olarak hava kullanılması düşünülmüştür. Silindirik bir oyuk modelinin denendiği toplayıcının dört tane açıklığı vardır. Toplayıcı yüksekliliği 198 m olan bir kulenin üzerindedir. Brayton kapalı çevrimine göre iş gören türbine, hava giriş sıcaklığı 815°C ve basınç 35 bardır. Her üniteye ait 10480 tane ve herbiri 915 cm çapında heliostat vardır. Tesis depo ettiği güneş enerjisiyle toplam

uç saat çalışabilmektedir. Isı depolamada balçık ve tuğla türünden malzemeler denenmektedir.

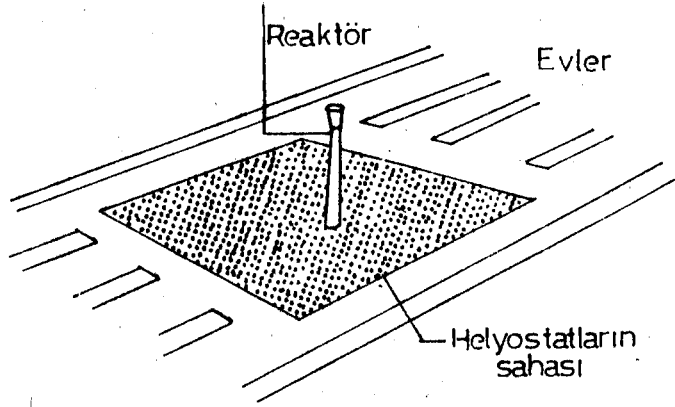
Aynı firma net gücü 100 MWe olan bir başka güneş enerjisi güç tesisi üzerinde de çalışmalar yapmaktadır. Bu projede helyum gazı ısı transfer kaddesi olarak kullanılmaktadır.

Kapalı çevrim gaz türbinli tesislerde erişilen türbin giriş sıcaklığı, buhar türbinli tesislere göre, daha yüksek değerlere çıkabildiğinden dolayı elde edilen verim yüksek olur. Örneğin türbin giriş sıcaklığı 850°C olan kapalı çevrim gaz türbinli bir tesisin verimi % 48 olduğu halde, kritik sıcaklıkta çalışan buhar türbinli tesiste verim ancak % 40 kadardır. Bunun anlamı aynı elektrik gücünün elde edilmesi için gerekli heliostat sayısı, dolayısıyla kullanılan alan ve maliyetler kapalı çevrim gaz türbinli tesislerde, daha azdır (45).

3.2.2.4 Barstow projesi

A.B.D. enerji dairesinin öncülüğünde, Güney Kaliforniya Edison şirketi, Los Angeles Su ve Elektrik İdaresi, Kaliforniya Eyaleti ve bir kaç özel firmanın mali ve teknik işbirliğiyle 10 MWe gücünde bir proje geliştirilmiştir. Bu tesiste kullanılan güneş kulesinin yüksekliği 86 m dir. Toplayıcı da depolanan ısı enerjisi ile 600°C sıcaklıkta ve 138 bar basınçta kızgın buhar elde edilmektedir. Isının eşanjöre taşınması amacıyla, sıvı sodyum, bazı tuzlar

ve ötektik karışımları ile bazı gazlar (helyum, hava) denenmektedir. Barstow projesindeki yeniliklerden biri, ısıyı kaya parçaları veya yağ gibi ucuz maddelere depolama çalışmalarının yapılmasıdır. Şekil 3.9 da kule tipi bir güneş enerji santrali görülmektedir.



Şekil 3.9 Bir kule tipi güneş enerji santrali

3.2.2.5 Diğer güneş enerji santralleri

A.B.D.' de biri Utah eyaletinde Büyük Tuz Gölü projesi, diğeri Kaliforniya eyaletinde Salton Denizi projesi olmak üzere iki dev doğal güneş havuzu projesi bulunmaktadır. Toplayıcı yerine bu güneş havuzları kullanılmak suretiyle elektrik enerjisi üretilmesine çalışılmaktadır (15). Birinci projede yaklaşık 836 m^2 lik bir havuz alanı üzerinde halen çalışmalar yürütülmektedir. Elde edilen güneş enerjisiyle freon veya butan gazının buharlaştırılması planlanmaktadır. Bu işlemlerden sonra turbo - jeneratör grubuna gönderilen buhar ile elektrik enerjisi üretilmektedir.

Verimin çok düşük olmasına rağmen (% 6.5 kadar) maliyetlerin de çok düşük olacağı belirtilmektedir.

İkinci proje ise herbiri 5 MWe kapasitede olan 120 üniteden meydana gelmektedir ve toplam net gücü 600 MWe kadardır. Bu güç Keban Hidroelektrik santralının yaklaşık yarısı kadardır.

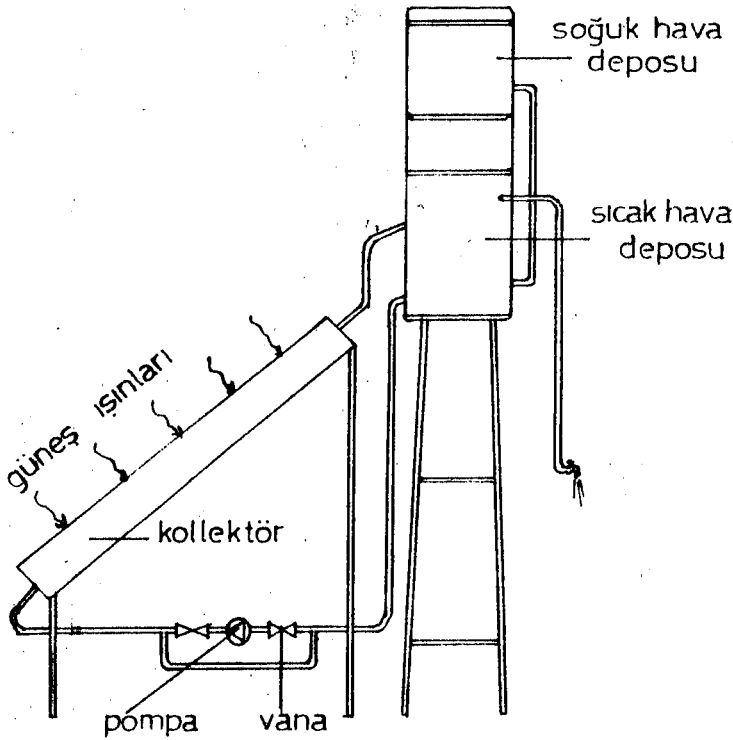
3.3 Güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesi

100°C ye kadarki düşük sıcaklık ortalamalarında düz toplayıcılar kullanılmaktadır. Düz toplayıcılarla yapılabilecek uygulamalar ise aşağıda sıralanmıştır.

Su ısıtma, bina ısıtma, sera ısıtma, tarımsal ürünlerin kurutulması, büyük hacimlerin ısıtılması ve soğutulması. Düz toplayıcılar, su ısıtıcılar ve hava ısıtıcıları olmak üzere iki genel grupta incelenebilir. Düzlem su ısıtıcı bölüm 4 de, düzlem hava ısıtıcısı ise bölüm 8 de ayrıntılı olarak incelenecektir.

4. DÜZLEM TOPLAÇLI SU ISITMA SİSTEMİ

Düzlem toplaçlı su ısıtma sistemi, Şekil 4.1 de görüldüğü gibi, düzlem kollektör (toplaç), soğuksu deposu, sıcak su deposu ve bağlantı borularından oluşmaktadır.



Şekil 4.1 Düzlem toplaçlı su ısıtma sistemi

4.1 Düzlem Su ısıtıcısının Çalışma Prensipleri

Kollektör üzerine gelen güneş ışınının, saydam örtüden geçerek siyah yüzey (yutucu yüzey) tarafından yutulur. Güneş enerjisini oluşturan fotonlar, enerjilerini yutucu yüzeyi oluşturan maddenin yüzeyindeki atomlarına aktarırlar. Atomların titreşim enerjileri artar. Bu da yutucu yüzeyin sıcaklığının

artması demektir. Yani güneş enerjisi ısı enerjisine dönüşmüştür. sonra yutucu yüzey bu ısıyı iletim yoluyla sıcaklığı düşük diğer bölgelere, dolayısıyla borulara aktarır, boruların dış kısmından iç kısmına yine iletim yoluyla bu enerji iletilir. Buradan da boruların içinden akmakta olan akışkana, konveksiyon yoluyla aktarılır. Böylece yararlanılan enerji sağlanmış olur.

Şimdi bu enerjiyi, akışkanın konveksiyonla (taşıınım) nasıl taşıdığını ve sirkülasyonun nasıl sağlandığını inceleyelim.

Akışkanın kollektördeki bu enerji aktarılınca yoğunluğu azalmaya başlar. Kollektörün diğer birimlerindeki (kollektör girişindeki ve depodaki) suyun yoğunluğu daha fazladır. Dolayısıyla yoğunluk farkından doğal konveksiyon (taşıınım) oluşur. Kollektör borularındaki akışkana transfer edilen bu enerji, akışkan tarafından konveksiyon yoluyla depoya taşınır ve burada depo edilir. Depodaki su yine kollektör borularındaki suya göre daha yoğundur. Böylece doğal olarak sürekli bir sirkülasyon sağlanmış olur ve depodaki suya depo edilen enerji miktarı arttırılmış olur. Ayrıca böyle bir sistemde, sirkülasyonu sağlayan su pompası kullanılırsa, zorunlu konveksiyon (taşıınım) gerçekleştirilmiş olur.

Kollektörden elde edilen yararlı ısı

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_g - T_g) = \rho V C_p (T_g - T_g) \quad 4.1$$

kollektör verimi ise

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A} = \frac{\dot{V} C_p (T_g - T_g)}{I_T A} \quad 4.2$$

dır. Denklem 4.2 de görüldüğü gibi debi arttırılırsa kollektörün verimi artar. Buyüzden su pompası kullanılarak zorunlu taşınım sağlanırsa kollektörün verimi arttırılabilir. Fakat debinin arttırılması, kollektörün giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı azaltacağından, verim düşer. Bunun için pompa kullanılan sistemlerde optimum debi miktarı sağlanmalıdır.

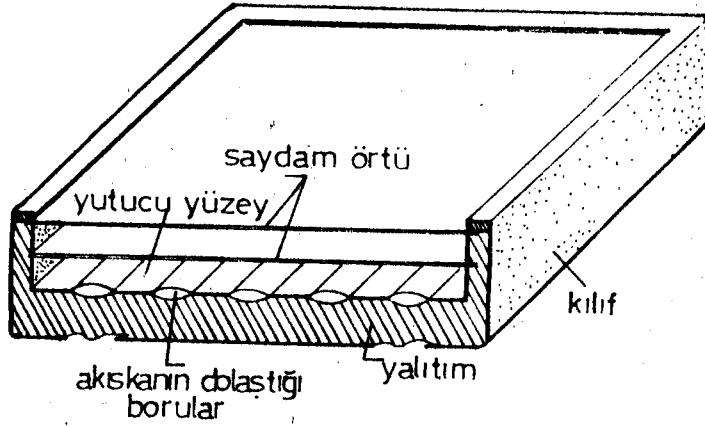
4.2 Düzlem Su Isıtıcı (Kollektör)

Bu bölümde, sadece düzlem su ısıtıcısının yapısı hakkında bilgi verilecektir. Çalışmada kullanılan kollektörün, boyutları daha sonraki bölümlerde verilecek ve bundan sonra düzlem su ısıtıcı deyimi yerine kollektör ifadesi kullanılacaktır.

Kollektörü oluşturan birimler ayrıntılı olarak incelenecek ve kollektöre gelen enerjinin, yararlanılabilen enerjiye dönüştürülmesi, teorik olarak adım adım incelenecektir.

Pratikte çok kullanılan basit bir kollektör, genellikle aşağıda sıralanan kısımlardan meydana gelir (Şekil 4.2).

1. Saydam Örtü,
2. Enerji toplayan yutucu yüzey,
3. Isı taşıyan akışkanın dolaştığı borular,



Şekil 4.2 Basit bir kollektörün kısımları

4. Yalıtım,

5. Toplayıcıyı dış etkilerden koruyan ve yukarı da belirtilen kısımları bir aaraya getiren koruyucudur(kılıf)

4.2.1 Saydam örtü

Kısa dalga boylu güneş ışınımını geçirir ve yutucu yüzeyin yayınladığı uzun dalga boylu termal ışınımı geçirmez. Saydam örtü taşınım ile olan ısı kaybını önlediği gibi yutucu yüzeyi, yağmur, dolu ve toz gibi dış etkenlerden korur.

Saydam örtü ucuz olmalı, kolay temin edilebilmeli, morötesi güneş ışınlarından etkilenmemeli, yüksek sıcaklıklara dayanabilmeli, kolay işlenebilmeli, ve çevreden gelecek etkilere (dolu, taş, vs.) karşı dayanıklı olmalıdır (14). Saydam örtülere pencere camı,

Su - beyazı cam (Water white), Teflon, Tedlar, Mylar örnek verilebilir. Kollektörde kullanılması düşünülen saydam örtünün seçiminde ekonomikliliği de gözönünde bulundurulmalıdır.

4.2.2 Yutucu yüzey

Toplayıcılarda güneş ışınımını yutan ve ısıyı, borulardaki akışkanı aktaran kısımdır. Yutucu yüzeyin, herşeyden önce güneş ışınımını yutma oranının büyük ve uzun dalga boylu ışınım yayıcılığının küçük olması gerekir.

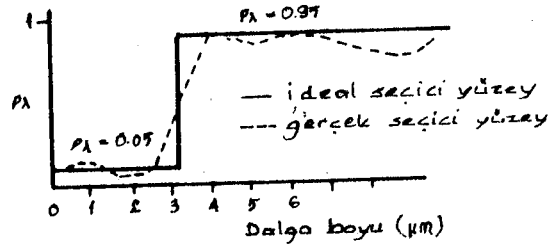
Yutucu yüzeylerde ışınım geçirilmediğinden, belli bir dalga boyunda, yansıtma ve yutma oranlarının toplamı birdir. Ayrıca, Kirshoff yasasına göre, ısı dengede halinde, belli bir dalga boyunda, yutma ve yayma oranları birbirine eşittir. Siyah boyaların güneş ışınımını yutma oranları yüksek olduğu gibi uzun dalga boylu ışınımı yayma oranı da yüksektir. Siyah yüzeyli toplayıcıların normal doğrultudaki güneş ışınımını yutma ve uzun dalga boylu ışınımı yayma oranları 0.90-0.95 mertebesinde (14).

4.2.2.1 Seçici yüzey

İdeal yutucu yüzey, kısa dalga boylu ışınımın tamamını yutan, fakat uzun dalga boylu ışınım yayıcılığı olmayan yüzeylerdir. Bu yüzden siyah boyalı yutucu yüzey, ideal bir yutucu yüzey değildir. Kısa dalga boylu ışınımı (0.3-3.0 m) tamamına yakını yutan ve uzun dalga boylu ışınım yayıcılığı az olan

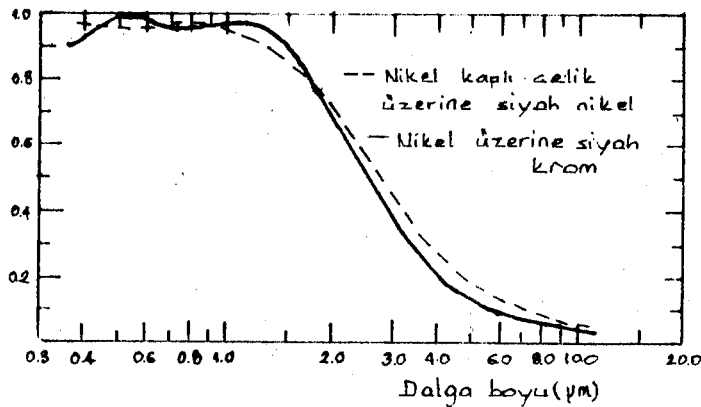
yüzeylere seçici (selektif) yüzey adı verilir (14).

Şekil 4.3 de ideal ve gerçek seçici yüzeyin spektral yansıtma oranının değişimi görülmektedir. Seçici yüzeylerin, güneş ışınımını yutma oranının (α), uzun dalga boylu termal ışıyım yayma oranına (ε) bölümüyle (α/ε) elde edilen değer, seçici yüzeylerin kalitesi hakkında bir bilgi verir.



Şekil 4.3 İdeal ve gerçek seçici yüzeylerin yansıtma oranı

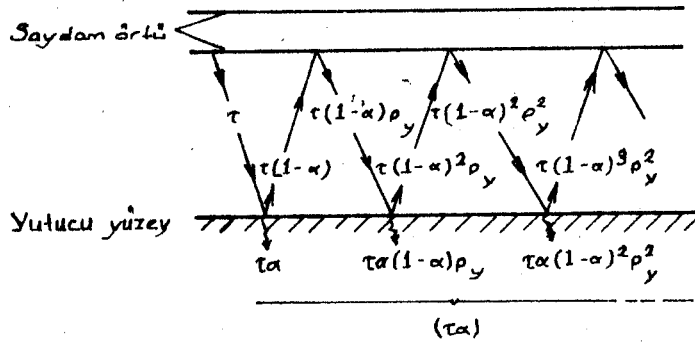
Seçici yüzeylere örnek olarak, nikel kaplı çelik üstüne nikel kaplama nikel üzerine siyah krom kaplama verilebilir. Seçici yüzeyler elektroliz yöntemi ile elde edilebilirler. Şekil 4.4 de bazı seçici yüzeylerin spektral yutma oranı verilmektedir (14).



Şekil 4.4 Bazı seçici yüzeylerin spektral yutma oranı

4.2.2.2 Yutma - Geçirme çarpımı

Saydam örtüyü geçerek, yutucu yüzey üzerine gelen güneş ışınının büyük bir kısmı yüzey tarafından yutulurken, bir kısmı yansıtılır. Yansıtılan ışınım, saydam örtünün alt kısmına gelir ve bir kısmı geçerken bir kısmı yeniden levhaya yansıtılır, ve böylece devam eder. Şekil 4.5 den levha tarafından



Şekil 4.5 Yutucu yüzeyde güneş ışınının yutulması

yutulan toplam ışınım kesri

$$(\tau\alpha)_e = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} ((1-\alpha)\rho_y)^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y} \quad 4.3$$

elde edilir (14). Burada, (14) değerine "düz toplayıcı optik verimi" veya "yutma - geçirme çarpımı" denilmektedir ve yüzeyin güneş ışınımını açısal yutma oranı, ρ_y ise saydam örtünün levhadan yansıyan ışınımı yansıtma oranıdır. Denklem 4.3 deki $(\tau\alpha)$ değeri, α ve değerlerinin bütün dalga boylarında ayrı ayrı integralleri ile elde edilen değerleridir. Gerçekde,

$$(\tau\alpha) = \int_0^{\infty} \tau_{\lambda} \alpha_{\lambda} I_{\lambda} d\lambda / \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda$$

şeklinde bulunması gerekir. Fakat, güneş kollektörlerinde kullanılan yutucu yüzeyler için α değeri bire yakın olduğundan 4.3 denkleminde hesaplanan değerlerdeki hata ihmal edilebilir mertebededir (14).

Yutucu yüzeyle saydam örtünün birbirine paralel olduğu ve levha tarafından ışınımın yayılı yansıtıldığı gözönüne alınarak hesaplanan ρ_y değerleri tablo 4.1 de verilmektedir.

cam sayısı	1	2
Düşük Fe_2O_3 lü camlar (%0.05)	0.154	0.233
Pencere camı	0.143	0.202

Tablo 4.1 Camların, levhanın yansıttığı ışınımı yansıtma oranı

Yüzeylerin yutma oranı α ise, siyah mat boya için bu değer 0.94-0.98 aralığında alınabilir. Genellikle düzlem kollektörlerde kullanılan yüzeyler için $\alpha=0.90-0.96$ değerlerindedir.

Yutucu yüzeyi tarafından yutulan ışınım miktarının toplayıcı üzerine gelen ışınım miktarına oranı " toplam yutma-geçirme çarpımı " olarak tarif edilir. Buna göre toplayıcıda yutulan ışınım miktarı I_{yu} ve toplayıcı üzerine gelen ışınım şiddeti I_e olmak üzere,

$$(\tau\alpha) = I_{yu}/I_e$$

şeklinde yazılabilir.

$(\tau\alpha)$ değerinin bulunması için pratik bir bağın-

tı ise $(\tau\alpha)_0$ saydam örtünün normal doğrultuda gelen direkt güneş ışınımı için yutma-geçirme çarpımı olmak üzere, yaklaşık olarak

$$(\tau\alpha)_d = (\tau\alpha)_0 - b(1/\cos\theta_g - 1) \quad 4.5$$

şeklinde yazılabilmektedir (Beard ve diğ., 1977)(14).

4.5 denklemindeki b katsayısı, en küçük kareler metodu kullanılarak bulunmuştur. Tablo 4.2 de bu değerler verilmiştir.

	cam sayısı	$(\tau\alpha)_0$	b
Düşük demir oksitli cam	1	0.87	0.07
(0.0125)	2	0.79	0.09
Pencere camı	1	0.80	0.08
(0.09)	2	0.69	0.10

Tablo 4.2

4.2.3 Isı yalıtımı ve kasa

Kollektörlerin güneş ışınımı alamayan alt ve yan kısımlarından olan ısı kayıplarının azaltılması için Denklem 4.6 dan da görüleceği gibi ısı iletim katsayısı mümkün olduğunca küçük malzeme kullanılmalıdır.

$$Q = \lambda A \frac{((T_p - T_g))}{\Delta x} \quad 4.6$$

Burada, Q iletimle kaybolan ısı, λ yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, Δx yalıtım malzemesinin kalınlığı, A ısınnın kaybolduğu yüzey alandır. Yine denklem

4.6 dan görüldüğü gibi, yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça ısı kaybı azalmaktadır ve ısı iletim katsayısı küçüklük oranı da ısı kaybını azaltan faktörlerdendir. Isı yalıtım malzemesinin kalınlığı için optimum kalınlık seçilmelidir. Ayrıca malzemenin ekonomikliliği de gözönünde bulundurulmalıdır. Tablo 4.3 de bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri verilmektedir.

	20 C sıcaklıkta ısı iletim k W/m-K	Dayanabilme sıcaklığı C	Yoğunluğu kg/m ³
Stoyropor (polystrol)	0.035	70-80	20
Poliüretan	0.028	100	35
PVC, polyvilyclorid	0.035	100-130	40-80
Cam yünü	0.036	250-500	15-120

Tablo 4.3 Bazı yalıtım malzemeleri ve özellikleri (14).

4.3 Kollektörlerin Isıl Analizi

Toplayıcı üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüde yansır, bir kısmı yutulur ve geri kalan kısmı yutucu yüzeye ulaşır. Yutucu yüzeye gelen enerjinin bir kısmı ısı taşıyıcı akışkana geçerken (yararlı ısı), bir kısım toplayıcı da depolanır. Geri kalan kısmı ışınım, taşınım ve iletimle çevreye gider. Işınım, taşınım ve iletimle olan ısı kayıplarının toplamı $\dot{Q}_k$, depolanan enerji $\dot{Q}_d$, akışkana geçen enerji $\dot{Q}_f$ olmak üzere, kollektörler

için enerji dengesi

$$I(\tau\alpha)A_k = \dot{Q}_f + \dot{Q}_k + \dot{Q}_d \quad 4.7$$

şeklinde yazılabilir (14).

Enerji dengesini oluşturan her bir nicelik ayrı ayrı incelenecektir.

4.3.1 Toplayıcı ısı kayıp katsayısı

Düz toplayıcılarda, çevreye olan ısı kayıpları toplayıcıların üst, alt ve yan yüzeylerinden olur. Kaybolan toplam ısı

$$\dot{Q}_k = KA(T_p - T_g) \quad 4.8$$

olarak ifade edilir. Bu ifadedeki T_p , T_g değerleri ölçülebilmektedir. Toplam ısı kayıp katsayısı ifadesinin ise bulunması gerekmektedir.

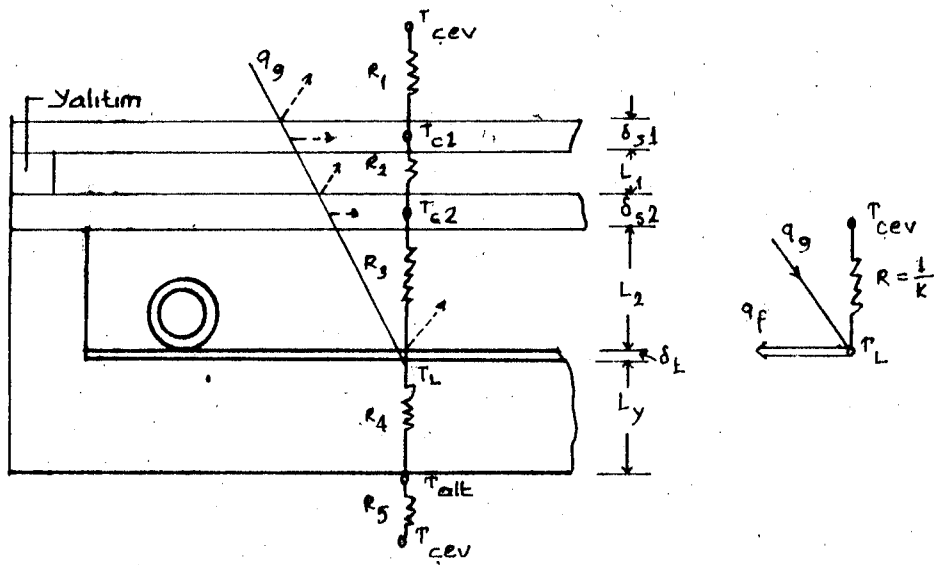
Toplam ısı katsayısı, alttan ve üstten ısı kayıp katsayılarının toplamıdır ve

$$K = K_{üst} + K_{alt} \quad 4.9$$

şeklinde yazılabilir. Şimdi de K_{alt} ve $K_{üst}$ ifadelerini ayrı ayrı bulalım. Şekil 4.6 yı gözönünde bulundurarak K_{alt} ifadesini

$$K_{alt} = \frac{1}{R_4 + R_5} \quad 4.10$$

Şeklinde yazabiliriz. Yalıtım malzemesinin alt yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark çok küçük olduğundan $R_5 \approx 0$ yazılabilir.



şekil 4.6

Yalıtım kalınlığı L_y ve yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı λ olmak üzere

$$R_4 = \frac{L_y}{\lambda} \quad 4.11$$

dir. Böylece K_{alt}

$$K_{alt} = \frac{\lambda}{L_y} \quad 4.12$$

elde edilir.

Üstten ısı kayıp katsayısının iteratif metodlarla hesaplanması uzun işlemleri gerektirmektedir.

Agarwal ve Larson (1981), $K_{üst}$ değerinin

$$A = \frac{N}{\frac{C}{T_p} \left[\frac{(T_p - T_\infty)}{N + f} \right]^{0.33}} + \frac{1}{h_{td}} \quad 4.13$$

$$B = \frac{\sigma (T_p + T_\infty) (T_p^2 + T_\infty^2)}{[\epsilon_p + 0.05 N (1 - \epsilon_L)]^{-1} - \frac{2N + f - 1}{\epsilon_s} - N} \quad 4.14$$

olmak üzere

$$K_{üst} = A^{-1} + B \quad 4.15$$

Bağıntısıyla, maksimum $\pm 0.25 \text{ W/m}^2\text{-K}$ hata ile bulunabileceğini belirtmektedirler (14).

Burada,

$$h_{td} = 5.7 + 3.8 V \quad 4.16$$

$$f = (1 - 0.04 h_{td} + 0.0005 h_{td}^2) (1 + 0.091 N) \quad 4.17$$

$$C = 250 [1 - 0.0044 (s - 90)] \quad 4.18$$

olup, V (m/s) rüzgar hızı, s (drc) toplayıcı eğimi, N saydam örtü sayısı, ϵ_p yutucu yüzeyin ışınlım neşretme oranı ϵ_s saydam örtünün ışınlım yayma oranı, T_p ve T_φ sıra ile yutucu yüzey ve çevre sıcaklıklarıdır (). Böylece toplam ısı kaybı

$$Q_k = ((A^{-1} + B) - \frac{\lambda}{L_y}) A (T_p - T_\varphi) \quad 4.19$$

olarak yazılabilir. A ve B katsayıları denklem 4.13 ve 4.14 de verilmiştir.

Akışkana geçen yararlı enerji

Kollektörden akışkana transfer edilen yararlı enerji (faydalı enerji)

$$Q_f = Q_g - Q_k \quad 4.20$$

veya,

$$\dot{q}_f = I(\tau\alpha) - \dot{q}_k \quad 4.21$$

dır. Yani yutucu yüzey sıcaklığının T_p olduğu kısımda, faydalanılan güneş ışınlımı, yutucu yüzey tarafından yutulan ışınlım ile çevreye olan ısı kayıplarının farkına eşittir.

$$q_k = q_{alt} + q_{üst} \quad 4.22$$

$$q_{alt} = K_{alt} (T_p - T_\varphi) \quad 4.23$$

$$q_{üst} = K_{üst} (T_p - T_\varphi) \quad 4.24$$

$\dot{q}_k$ ifadesini 4.23 ve 4.24 denklemlerinden

$$\dot{q}_k = (K_{üst} + K_{alt}) (T_p - T_ç) \quad 4.25$$

dir. 4.9 denkleminde yararlanarak

$$\dot{q}_k = K(T_p - T_ç) \quad 4.26$$

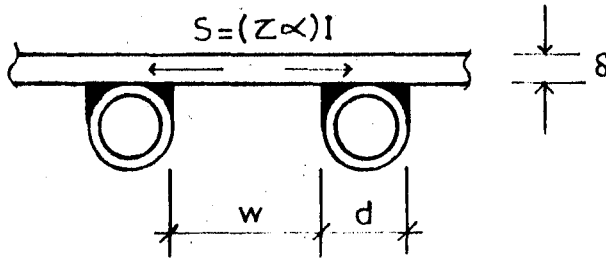
şeklini alır. Bu denklem 4.21 denkleminde yerine konacak olursa kollektörden akışkana aktarılan yararlı ısı

$$\dot{q}_f = I(Z\alpha) - K(T_p - T_ç) \quad 4.27$$

şeklini alır.

4.3.2 Kollektör ısı geçiş faktörleri

Bu bölümde, düzlem kollektörlerde faydalı ışıının miktarını akışkan giriş sıcaklığını ve çevre sıcaklığının fonksiyonu olarak hesaplanacaktır.



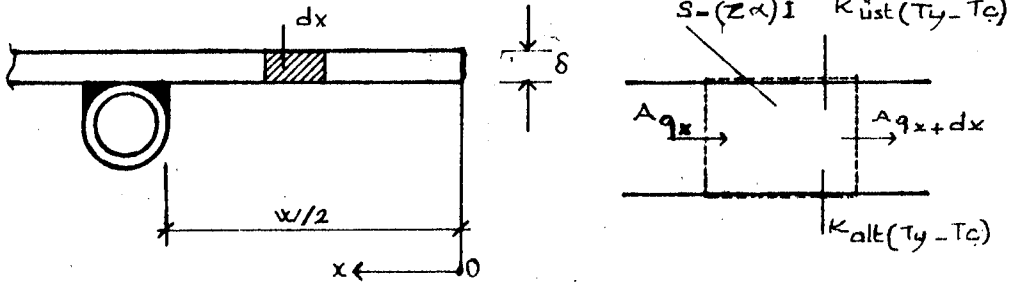
Şekil 4.7

Şekil 4.7 de görüldüğü gibi, boruların yutucu levhaların altına yerleştirildiği sıvılı toplayıcıları göz-önüne alalım. Borular arasındaki mesafe w boruların dış çapları d , yutucu levhaların kalınlığı δ , boru sıcaklığı T_b , boru uzunluğu b ve çevre sıcaklığı $T_ç$ olsun. Bir borunun diğerlerinden bağımsız olduğunu

ve boruların arasındaki levhanın ortasında yüzey sıcaklığının maksimum olduğu kabul edilirse, levhanın ucu yalıtılmış bir kanat olarak gözönüne alınabilir. Yutucu yüzey üzerine gelen güneş ışınımı

$$S = (\tau \alpha) I \quad 4.28$$

dır. Kanat üzerinde dx kalınlığındaki eleman sistem olarak seçilir (Şekil 4.8) ve termodinamiğin birinci yasası uygulanırsa,



Şekil 4.8

(sisteme gelen enerji, sistemden çıkan enerjiye eşit olmalıdır.)

$$A q_x + S \delta dx = A q_x + dx + \delta K (T_p - T_c) \quad 4.29$$

dir. Bu denklemi sıfıra eşitlersek

$$A q_x - A q_x + dx - \delta K (T_p - T_c) dx + S \delta dx = 0 \quad 4.30$$

$$A = b \delta \text{ ve } \delta = b + 2\delta \approx b \text{ dir.} \quad 4.31$$

$$q_x + dx = q_x + dx \frac{dq_x}{dx} \quad 4.32$$

Taylor açılımıdır. 4.31 ifadelerinin eşitlikleri ve denklem 4.32 deki Taylor açılımı, denklem 4.30 da yerine konacak olursa

$$S - \delta \frac{dq_x}{dx} - K (T_p - T_g) = 0 \quad 4.33$$

olur. Yutucu yüzey malzemesinin ısı iletim katsayısı λ olmak üzere

$$q_x = -\lambda \frac{dT_p}{dx} \quad 4.34$$

Fourier ısı iletim ifadesi 4.33 denkleminde yerine konursa

$$\frac{d^2 T_p}{dx^2} - \frac{K}{\lambda \delta} (T_p - T_g - \frac{S}{K}) = 0 \quad 4.35$$

olur. Bu denklemde

$$m^2 = \frac{K}{\lambda \delta} \quad 4.36$$

$$\theta(x) = T_p(x) - T_g - S/K \quad 4.37$$

değişken değiştirmeleri yapılırsa 4.35 denklemi son şekliyle

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - m^2 \theta = 0 \quad 4.38$$

diferansiyel denklemi halini alır. Bu diferansiyel denklemin çözümü

$$\theta(x) = C_1 \sinh(mx) + C_2 \cosh(mx) \quad 4.39$$

dir. C_1 ve C_2 katsayıları sınır şartlarından yararlanılarak bulunur.

Sınır şartları,

$$1 \quad x=0 \quad \frac{dT_p(0)}{dx} = 0 \quad \frac{d\theta(0)}{dx} = 0 \quad 4.40$$

$$2 \quad x=w/2 \quad T_p(w/2)=T_b \quad \theta(w/2)=T_b-T_\zeta-S/K \quad 4.41$$

dır. Bu sınır şartlarını uygulayacak olursak 4.40 ifadesinden

$$\frac{d\theta(x)}{dx} = mC_1 \cosh(mx) + C_2 m \sinh(mx) = 0 \quad 4.42$$

Burada $C_1 = 0$ ve $C_2 \neq 0$ olmalıdır. Dolayısıyla

$$\theta(x) = C_2 \cosh(mx) \quad 4.43$$

dır. Bu denklemdaki C_2 katsayısı ise ikinci sınır şartından

$$\theta(w/2) = C_2 \cosh(mw/2) = T_b - T_\zeta - S/K \quad 4.44$$

den

$$C_2 = \frac{T_b - T_\zeta - S/K}{\cosh(mw/2)} \quad 4.45$$

bulunur. Bu denklem, 4.43 de yerine konacak olursa

$$T_p(x) - T_\zeta - S/K = \frac{T_b - T_\zeta - S/K}{\cosh(mw/2)} \cosh(mx) \quad 4.46$$

ve bu ifade son şekliyle

$$T_p(x) = T_\zeta + S/K + \frac{T_b - T_\zeta - S/K}{\cosh(mw/2)} \cosh(mx) \quad 4.47$$

dır. Bu kanatçığın sıcaklık profilidir. Kanatçığın tam ortasından boruya kadar herhangi bir x uzaklığındaki sıcaklık ifadesini vermektedir.

Şimdi de kanatlardan (borunun iki yanından) bir boruya geçen ısı miktarını bulalım.

$$\dot{Q}_{1k} = - 2\lambda \delta b \frac{dq_x}{dx} \quad 4.48$$

Fourier yasasından ve 4.46 denkleminde yararlanarak kanatçıklardan boruya geçen ısı miktarını

$$\dot{Q}_{1k} = bw(S - K(T_b - T_g))\eta_k \quad 4.49$$

elde ederiz. Burada η_k dikdörtgen kesitli kanat verimi olup

$$\eta_k = \tanh(mw/2)/(mw/2) \quad 4.50$$

şeklindedir.

Bir boru üzerine gelen enerjinin yararlanılan kısmı, alttan olan ısı geçişi yüzeyi üst kısım ile aynı alınırsa

$$\dot{Q}_{1b} = db(S - K(T_b - T_g)) \quad 4.51$$

yazılabilir (14). Böylece, bir boruya geçen toplam faydalı enerji miktarı 4.49 ve 4.51 denklemlerinden

$$\dot{Q}_{1f} = b(d + w\eta_k)(S - K(T_b - T_g)) \quad 4.52$$

bulunur. Bu ifade, ayrıca boru ve akışkan sıcaklığına bağlı olarak

$$\dot{Q}_{1f} = \frac{(T_b - T_a)}{1/(\pi d_1 h_{t1}) - (\delta/dbk_b)} \quad 4.53$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.3 Kollektör verim faktörü

Boru sıcaklığına bağlı olarak bulunan yararlı ısı denklemi 4.52 den T_b çekilerek 4.53 denkleminde yerine konulursa, bir borudan faydalanılan ısı miktarı, akışkan sıcaklığına bağlı olarak

$$F_v = \frac{1/K}{(d + w) \left[\frac{1/K}{(d + w k)} + \frac{1}{d k_b} + \frac{1}{\pi d_1 h_{t1}} \right]} \quad 4.54$$

olmak üzere

$$Q_{lf} = (d + w) b F_v (S - K (T_a - T_g)) \quad 4.55$$

elde edilmektedir (14). Burada F_v değerine toplayıcı verim faktörü adı verilir.

Toplayıcı verim faktörü, gerçek haldeki faydalı enerjinin yutucu yüzey sıcaklığının akışkan sıcaklığında olması halindeki faydalı enerjiye oranıdır. Şekil 4.9 da bazı toplayıcı tipleri için toplayıcı verim faktörü ifadeleri verilmiştir.

4.3.4 Akışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı

Şekil 4.10 dan görüldüğü gibi, dy kalınlığındaki eleman sistem olarak seçilerek termodinamiğin birinci yasası uygulanırsa

$$\dot{Q}_y + (w + d) dy \dot{Q}_f - \dot{Q}_{y+dy} = 0 \quad 4.56$$

$$\dot{Q}_y + dy = \dot{Q}_y + dy \frac{d\dot{Q}_y}{dy} \quad 4.57$$

Taylor açılımını denklem 4.56 da yerine konulursa ve $d\dot{Q}_y = \dot{m}_1 C_p dT_a(y)$ ve birim boru - kanat yüzeyinden faydalanılan enerji 4.52 denklemine göre $\dot{q}_f = F_v (S - K(T_a - T_c))$ olduğundan

$$\dot{m}_1 C_p \frac{dT_a}{dy} - (w + d) F_v (S - K(T_a - T_c)) = 0 \quad 4.58$$

elde edilir.

$$\beta = \frac{(w + d) F_v K}{\dot{m}_1 C_p} \quad \text{ve} \quad \theta(y) = T_a(y) - T_c - S/K \quad \text{değişken}$$

değiştirilmeleri yapıldığında 4.58 diferansiyel denklemi

$$\frac{d\theta(y)}{dy} + \beta \theta(y) = 0 \quad 4.59$$

son şeklini alır. Bu diferansiyel denklemin çözümü

$$\ln \theta(y) = -\beta y + C_1 \quad 4.60$$

dir. C_1 katsayısı $y = 0$ olduğunda $\theta(y) = \theta_g$ sınır koşulundan $C_1 = \ln \theta_g$ olarak bulunur. Buna göre

$$\ln(\theta(y)/\theta_g) = -\beta y \quad \text{den}$$

$$\theta(y) = \theta_g e^{-\beta y} \quad 4.61$$

bu denklemde $\theta_g = T_g - T_c - S/K$ dir. θ_g ve üstte ifade edilen $\theta(y)$ eşitlikleri denklem 4.61 de yerine konulursa borunun içinden akan akışkanın, borunun herhangi bir y uzunluğu için sıcaklık profili,

$$T_a(y) = T_{\varphi} + S/K + (T_g - T_{\varphi} - S/K) e^{-\beta y} \quad 4.62$$

dir. $y = b$ olduğunda denklem 4.61 akışkanın sıcaklığını veren ifadeye dönüşür.

$$T_{a\varphi} = T_{\varphi} + S/K + (T_g - T_{\varphi} - S/K) e^{-\beta b} \quad 4.63$$

olur. β ifadesini bu denklemde yerine koyduğumuzda aynı ifade

$$T_{a\varphi} = T_{\varphi} + S/K + (T_g - T_{\varphi} - S/K) \exp\left(-\frac{(w + d) F_v K}{\dot{m}_1 C_p} b\right) \quad 4.64$$

olur. $\dot{m} = \dot{m}_1 N_b$ ve kollektör alanı $A_k = N_b (w + d) b$ alınarak 4.64 denklemi yeniden düzenlenebilir.

4.3.5 Kollektör ısı kazanç faktörü

Faydalı enerjinin, kollektör yutucu yüzeyinin her noktasında akışkan giriş sıcaklığında olması halindeki faydalı enerjiye oranı, "kollektör ısı kazanç faktörü" olarak tanımlanır.

Faydalı enerji akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak

$$\dot{Q}_f = \dot{m} C_p (T_{a\varphi} - T_{ag}) \quad 4.65$$

ve yutucu yüzeyin akışkan giriş sıcaklığında olması halindeki faydalı enerji

$$\dot{Q}_{fi} = A_k (S - K(T_{ag} - T_{\varphi})) \quad 4.66$$

yazılabilir. Böylece 4.65 ve 4.66 denklemlerinden, kollektör ısı kazanç faktörü

$$F_t = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{Q}_{fi}} = \frac{\dot{m} c_p (T_{a\phi} - T_{ag})}{A_k (S - K(T_{ag} - T_{\phi}))} \quad 4.67$$

dir. Böylece faydalanılan enerji, akışkan giriş ve çevre sıcaklığına bağlı olarak

$$\dot{Q}_f = F_t \dot{Q}_{fi}$$

den

$$\dot{Q}_f = A_k F_t (S - K(T_{ag} - T_{\phi})) \quad 4.68$$

şeklinde yazılabilir (14.).

4.4 Günlük Ortalama Kollektör Verimi

Günlük ortalama kollektör verimi, bir gün boyunca toplanan ışıınının, kollektör üzerine gelen ışıınıma oranıdır. 4.68 denkleminde

$$\eta = \frac{Q_f}{Q_g} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} F_t A_k (S - K(T_{ag} - T_{\phi})) dt}{\int_{t_1}^{t_2} A_t I dt} \quad 4.69$$

şeklinde yazılabilir.

4.5 Düzlem Kollektör Anlık Verimi

Kollektörlerde toplanan enerjinin, kollektör üzerine gelen güneş ışıınınına oranı " kollektör verimi " olarak tarif edilir. Anlık kollektör verimi 4.68 denkleminde

$$\eta_t = \frac{Q_f}{A_k I} = F_t ((\tau\alpha)_e - K \frac{T_{ag} - T_{\phi}}{I}) \quad 4.70$$

veya 4.65 denkleminde

$$\eta_k = \frac{\dot{m} C_p (T_{a\phi} - T_{ag})}{A_k I} \quad 4.71$$

elde edilir (14). 4.70 denklemi

$$p = \frac{T_{ag} - T_{\phi}}{I} \quad 4.72$$

şeklinde alınarak, anlık ortalama verimi aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir.

$$\eta_k = F_t (\tau \alpha)_e - F_t K_p \quad 4.73$$

4.6 Depolanan Enerji

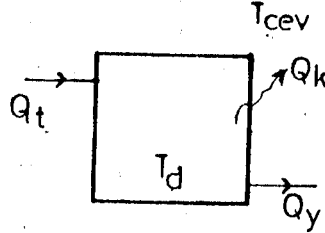
Su ısıtma sistemindeki (kollektörle) depoyu gözönüne alınırsa enerji dengesi

$$(mc_p)_d \frac{dT}{dT} = \dot{Q}_{koll} - \dot{Q}_y - \dot{Q}_k \quad 4.74$$

şeklindedir (Şekil 4.9).

Burada $\dot{Q}_{koll}$ kollektörden gelen ısı miktarı, $\dot{Q}_y$ ihtiyaç için çekilen ısı miktarı ve $\dot{Q}_k$ depo çevre sine ısı kaybıdır..4.74 denkleminde görüldüğü gibi, depodaki suyun sıcaklığının değişimi, depodaki suyun ısı kapasitesi ile depoya gelen, depodan çekilen ve kayıp olan ısı miktarlarına bağlıdır. Pratikte, depodan çevresine ısı kaybı sürekli olmasına (depo sıcaklığı çevre sıcaklığına ininceye kadar) rağmen, depodan çekilen ve kollektörden gelen enerji miktar-

ları günün saatlerine göre kesintilidir. Kollektörden depoya verilen enerji ve çekilen enerji aynı anda olduğu gibi farklı saatlerde de olabilir veya kayıp enerji dışında enerji girişi ve çıkışı olmayabilir (14).



Şekil 4.9

4.6.1 Depodan çevresine ısı kaybı

Depo ile çevresi arasındaki ısı geçişi, depo ve çevre sıcaklıkları sırasıyla T_d ve $T_ç$ ve çevreye ısı geçişi yüzeyi A_d olmak üzere

$$\dot{Q}_k = K_d A_d (T_d - T_ç) \quad 4.75$$

dir. Depo için toplam ısı geçiş katsayısı, deponun yan yüzeylerindeki toplam ısı geçiş katsayısına yaklaşık eşit alınabilir (14).

Yan yüzeylerdeki toplam ısı geçiş katsayısı, dikdörtgenler prizması küp şeklindeki depolar için

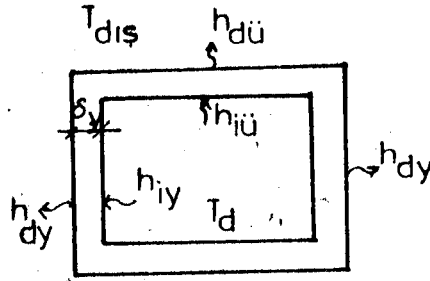
$$\frac{1}{K_d} = \frac{1}{h_d} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} \quad 4.76$$

şeklinde yazılabilir. Burada δ_y yalıtım malzemesinin kalınlığı, λ_y yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, h_d deponun dış yan yüzeyindeki ısı taşınım

katsayısıdır. Depo sıcaklığının yüksek olmadığı durumlarda düşey kübik depolar için ısı taşınım katsayısı

$$h_d = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.25} \quad 4.77$$

denkleminde hesaplanır ($10^4 > Gr \ Pr > 10^9$) (14).



Şekil 4.10

4.6.2 Depo sıcaklığının değişimi

Depodaki suyun sıcaklığı, depoya giren ve çıkan enerji miktarlarına bağlıdır. Kollektörden depoya enerji girişi yoksa ve depodan ihtiyaç için enerji çekilmiyorsa 4.74 ve 4.75 denklemlerinden

$$(mc_p) \frac{dT_d}{dt} - (KA)_d (T_d - T_g) = 0 \quad 4.78$$

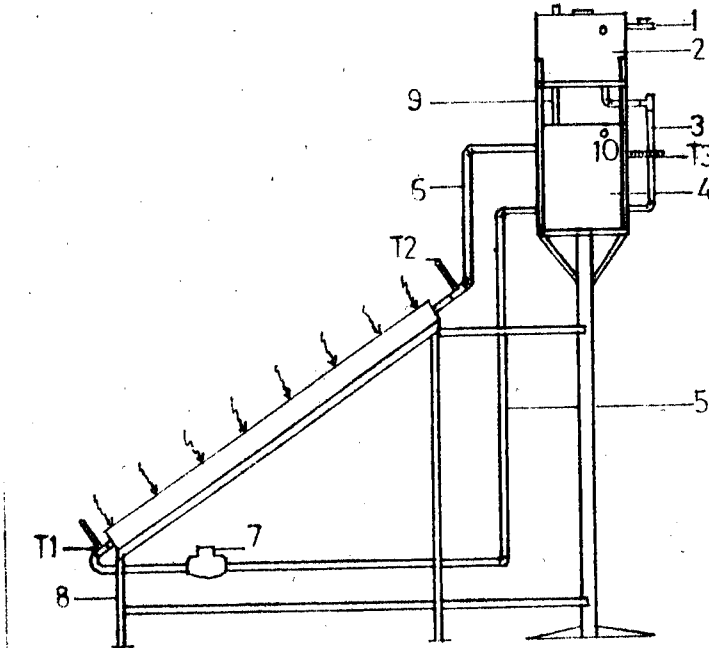
elde edilir. Diğer taraftan bu durum için deponun her noktasında sıcaklığın aynı olduğu kabul edilebilir. Deponun ilk sıcaklığı T_{d0} olmak üzere, $(KA)_d$ nin yaklaşık sabit kaldığı kabul edilirse 4.78 denkleminde, depo sıcaklığının zamana bağlı olarak

Şekilde numaralandırılmış birimler aşağıda açıklanmıştır.

1. Soğuk su deposu, 2. Sıcak su deposu, 3. Sıcak su deposundan kollektörün girişine verilen bağlantı borusu, 4. Kollektör deposunun desteği, 5. Kullanım suyu için kullanılacak depo çıkışı, 6-7. Kollektör sehpası, 8. Kollektör, 9. Kollektörden çıkan sıcak su depo girişi, 10. Havalandırma borusu.

4.8 Alınması Gereken Ölçüler İçin Kollektörle su ısıtma sistemine konulan ölçü aygıtları

Çalışmada kullanılan ölçü aygıtlarının kullanıldığı yerler, Şekil 4.12 de gösterilmiştir.



Şekil 4.12

5. DÜZLEM KOLLEKTÖRDE ALINAN ÖLÇÜMLER VE SONUÇLAR

Bölüm 4 de ayrıntılı olarak incelenen düzlem toplaçlı su ısıtma sisteminde aşağıdaki belirtilen parametrelerin ölçümleri yapılmıştır.

I_T Kollektör üzerine gelen toplam güneş ışınımı şiddeti (W/m^2), $T_{\text{çev}}$ çevre sıcaklığı, $T_{\text{çıkış}}$ kollektörden çıkış sıcaklığı, T_{tank} depo sıcaklığı, T_{siyah} siyah yüzeyin sıcaklığı, T_{kol} yutucu yüzeyle saydam örtü arasındaki ortamın sıcaklığı, T_{boru} boru sıcaklığı, ve debidir.

Bu parametrelerin ölçümleri Nisan 1986, Mayıs 1986, Haziran 1986, Temmuz 1986, Ağustos 1986, tarihlerinde yapılmıştır. Örnek olarak 22. 4. 1986 - 6. 5. 1986 ve 31. 7. 1986 tarihlerinde yapılan ölçümler tablo olarak verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak suyun özellikleri ile ilgili parametreler aşağıdaki tablodan alınmıştır.

Tablo 5.1 SUYUN ÖZELLİKLERİ

$^{\circ}C$	$C_p (kJ/kg.^{\circ}C)$	$\rho (kg/m^3)$
0	4.225	999.8
4.44	4.208	999.8
10	4.195	999.2
15.56	4.186	998.6
21.11	4.179	997.4
32.22	4.174	994.9
54.44	4.179	985.7
60	4.179	983.3
65.55	4.183	980.3

Saat	W/m ²	T _ç	T _g	T _{çıkış}	T _t	T _s	T _k	T _b	Debi
9.00	475	15	16	27	29	1.4	0.9	1.4	0.095
10.00	600	21	27	39	30	2.0	1.7	1.7	0.008
10.30	650	21	28	41	32	2.1	1.8	2.0	0.017
11.00	725	21	30	44	36	2.3	1.8	1.9	0.0095
11.30	650	21	30	44	37	2.4	2.0	2.0	0.0105
12.00	420	21	29	42.5	39	2.0	1.6	1.7	0.048
14.00	630	26	34	50	44	2.7	2.3	2.3	0.01
14.30	620	26	36	50	45	2.7	2.3	2.3	0.015
15.00	540	25.5	36.5	50	47	2.4	2.2	2.1	0.007
15.30	490	24	34	47	46	2.3	2.1	2.1	0.006
16.00	350	22	34	44	45	2.1	1.9	2.1	0.001
17.30	60	18	27	35	43	1.3	0.8	1.3	

Tablo 5.3 6.5.1986 tarihinde yapılan ölçümler

Debinin bulunabilmesi için yukarıdaki ifadelerin ayrıca geçen süreye bölünmesi gerekmektedir. Örneğin 9.00 ve 10.00 saatleri arasındaki debiyi bulabilmek için $V = 0.095/3600 \text{ (m}^3/\text{sn)}$ de olduğu gibi zamana bölünmelidir.

Saat	W/m ²	T _ç	T _g	T _{çıkış}	T _t	T _s	T _k	T _b	Debi
9.30	425	23		41	30	1.6	1.3	1.5	0.009
10.13	490	24	26	44	30	2.1	1.8	1.7	0.002
10.15	500	24	27	45	31	2.2	1.8	1.9	0.008
10.32	500	24.5	26.8	45.3	30	2.2	1.9	1.9	0.0045
10.45	520	26	26.5	47	30	2.2	1.8	1.8	0.007
11.02	540	27.8	26.8	47	30	2.3	2.0	1.9	0.0042
11.15	575	26.5	25.5	46	30	2.2	2.0	1.7	0.0063
11.30	600	29	27	49	31	2.4	2.1	1.8	0.007
11.45	650	27.5	26.5	48	31	2.5	2.2	1.9	

Tablo 5.4 31.7.1986 tarihinde yapılan ölçümler

Tablo 5.2 ve tablo 5.3 de görülen ölçümlerde kollektör sıcak su deposundan sıcak su alınmamıştır. 31.7.1986 tarihinde yapılan ölçümler esnasında aynı zamanda kollektörden sıcak su alınmıştır. Saat 10.20 de 43°C sıcaklıkta depodan sıcak su alınmaya başlanmış ve 10.52 de 30°C ye düşmüştür. 43°C den 30°C ye düşmeye kadar 100 lt su alınmıştır. 31.7.1986 tarihinde alınan ölçümlerden yararlanılarak kollektör verimi günlük ortalama % 49 olarak bulunmuştur.

6. KULLANILAN ÖLÇÜ AYGITLARI

Bu bölümde de yapılan çalışmalarda kullanılan ölçü ağıtları tanıtılacak, çalışma prensipleri hakkında bilgi verilecek ve kullanım yerleri belirtilecektir.

Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan ölçü ağıtları sırasıyla, güneşle düzlem su ısıtıcısı, termokupllar, solarimetre, termometreler ve su saatidir. Güneşle düzlem su ısıtıcı ayrıntılı olarak bundan önceki bölümlerde incelendiğinden burada tekrar anlatılmıyacaktır.

6.1 Termokupl

Sıcaklık ölçme ağıtı olarak kullanılan termokupl, farklı iki metalden meydana gelir ve Seebach olayının bir uygulamasıdır.

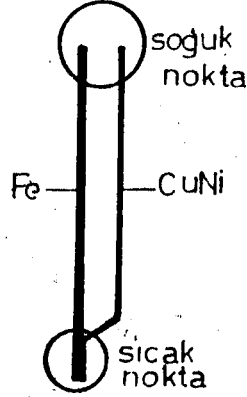
Sıcaklık ölçümlerinde, ölçülecek bölgeye girilememesi ve periyodik olarak ölçülmesi zorunluluğuna karşı uzaktan ölçebilme avantajına sahip termokupllar en uygun ağıtlardır.

6.1.1 Termokuplun Yapısı

Termokupl biri artı (+), diğeri eksi (-) termoelektrik özellikleri olan iki telden meydana gelir. Bu iki telin birbirine bağlandığı uca " Sıcak nokta ", açıkta bırakılan diğeri uçlarına " Soğuk Nokta " denir. Şekil 6.1

Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı, termokupl üzerinde termoelektrik gerilim

(emk) yaratır. Bu termoelektrik gerilim (emk), Tel-
lerin öteki noktalarındaki sıcaklıklarda bağımsızdır.



Şekil 6.1

6.1.2 Termokupl Çeşitleri

Kullanılacağı yerlerin sıcaklık değerlerine göre, uygun termokupl kullanılmalıdır. Aşağıda hangi sıcaklık aralığında hangisinin kullanılması gerektiğine ilişkin termokupl çeşitleri belirtilmiştir,

Cu-CuNi¹ (Tip T): -200 ile -300°C

Fe-CuNi (Tip J): -200 ile -800°C

Pt10Rh²-Pt (Tip S): 0 ile -1600°C

NiCr-Ni (Tip K): 0 ile -1200°C

Pt13Rh-Pt (Tip R): 0 ile -1800°C

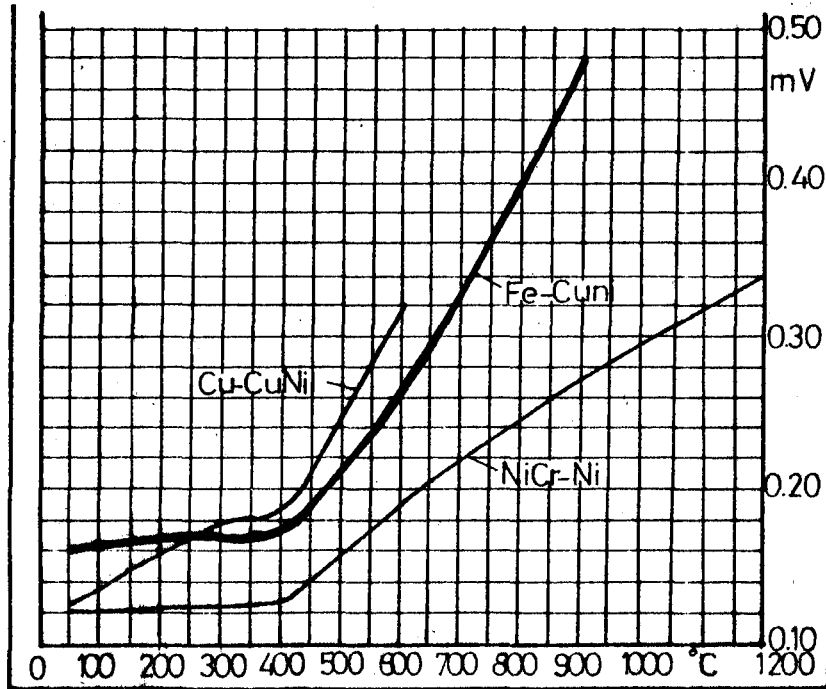
¹Konstantan olarak adlandırılır. % 50 bakır, % 50 nikel ihtiva eden bir alaşımdır.

²% 10 rodyum, % 90 platin ihtiva eden bir alaşımdır.

Bunlara ilave olarak Chromel - Alumel, PtRh - EL18 termokuplları da yaygın olarak kullanılmaktadır.

6.1.3 Termokuplların Sıcaklık - milivolt Karakteristik Eğrileri

Termokuplların en çok kullanılanlarından bakır - konstantan, demir - konstantan, ve nikelkrom - nikel in sıcaklık - miliVolt eğrileri Şekil 6.2 de gösterilen grafikte verilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü gibi 50 - 200°C aralığında bakır - konstantan 50 - 200°C aralığında ise demir - konstantan ve bakır - konstantan termokupllarından birinin kullanılması nikel krom - nikel termokupluna göre daha uygundur.

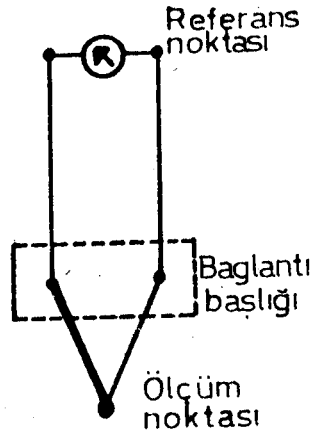


Şekil 6.2 Fe-CuNi, Cu-CuNi, NiCr-Ni termokupllarının sıcaklık-miliVolt karakteristik eğrileri

6.1.4 Deneysel Çalışmada Kullanılan Termokupllar

Sıcaklık ölçümü yapılan, kollektör yüzey sıcaklığı, kollektör borularının sıcaklığı, kollektör içi sıcaklıklarının bütün yıl boyunca -10 ile $+150^{\circ}\text{C}$ aralığında olabilecekleri düşünülmüştür. Buna göre Şekil 6.2 de gösterilen grafikten yararlanılarak termokupl bakır - konstantan veya demir - konstantan olarak seçilmelidir.

Demir - konstantan çifti daha kolay bulunmuştur. Dolayısıyla kullanılan bütün termokupllar, J tipi, (+) teli demir ve (-) teli konstantan (CuNi) olan, 1 mm çapındaki tellerden yapılmıştır. Şekil 6.3.

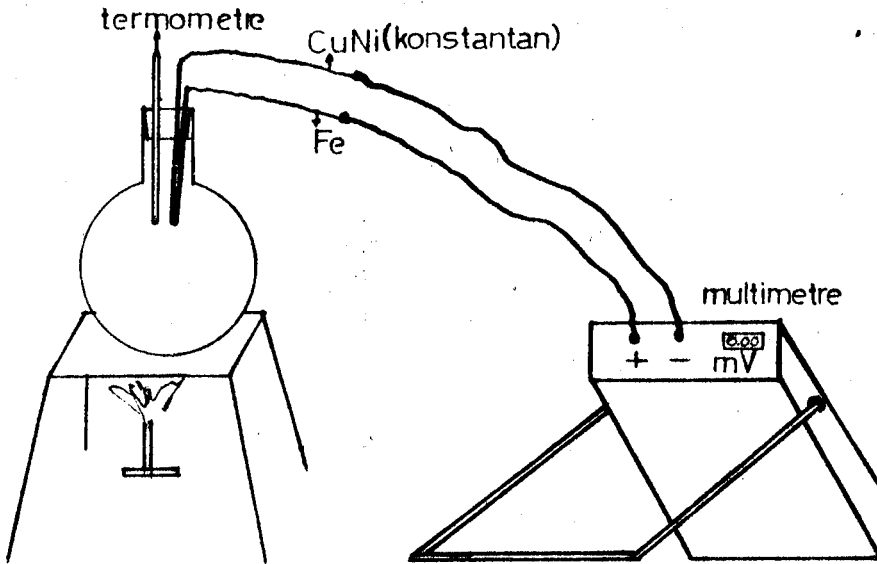


Şekil 6.3

6.1.5 Termokuplların Kalibre Edilmesi

Termokuplların sıcak noktası sıcaklık ölçümü yapılacak yüzeye değdirildiğinde soğuk uç olarak adlandırılan açık uçlarda bir gerilim oluşur. Bilindiği gibi termokupllardan doğrudan sıcaklık okunamaz. Ölçü aygıtından mV okunur. Okunan mV un karşılığı olan sıcaklığın bilinmesi gerekir. Bu yüzden termokuplun kalibre edilmesi gerekir.

Bunun yapılması için Şekil 6.4 de gösterilen düzenek hazırlandı. Termokuplun sıcak noktasındaki sıcaklık Civalı termometre ile okundu. Bu sıcaklığa karşı gelen termokuplun iki açık ucu arasındaki gerilim mV olarak KEITHLEY marka $3 \frac{1}{2}$ digitlik multimetreden okundu.



Şekil 6.4 Termokupl kalibre düzeneği

Tablo 6.1 de termokupllardan birisi için ölçülen sıcaklık - mV değerleri verilmiştir.

SICAKLIK T ^o C	V (mV)
19	0.1
22	0.2
23.5	0.3
26	0.4
28	0.5
29	0.6
31	0.7
33.5	0.8
34	0.9
36.5	1.0
42	1.2
43	1.3
44	1.4
46	1.5
47	1.5
48	1.6
49	1.7
51	1.8
54	1.9
55	2.0
58	2.2
60	2.3

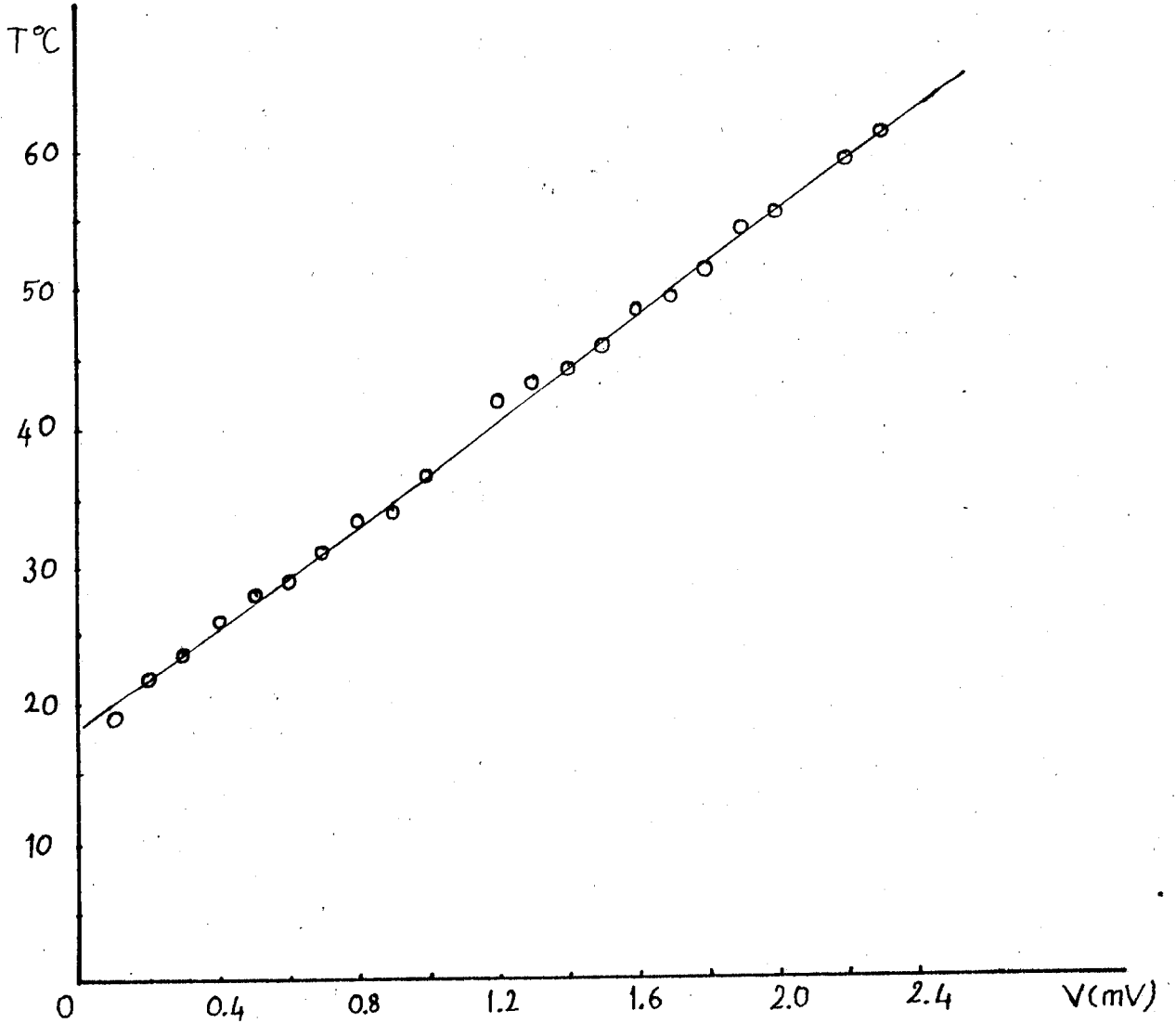
Tablo 6.1 Termokuplun Sıcaklık - mV Değerleri

Bu verilere göre Sıcaklık - mV grafiği çizildi. Şekil 6.5 deki $T=f(V)$ grafiğinde de görüldüğü gibi sıcaklık ifadesinin

$$T = A + BV$$

6.1

şeklinde olması gerektiği görülmektedir.



Şekil 6.5 Termokuplun Sıcaklık - mV karakteristik eğrisi

$T = A + BV$ lineer denklemindeki A ve B katsayıları, en küçük kareler yöntemi ile bulundu.

Bu yöntemde A ve B katsayılarının hesaplanması " Ek Açıklamalar A " kısmında yapılmıştır.

Termokuplların kaynak edilmesi esnasında herbirisi için standart koşullar sağlanamadığından her termokuplun ayrı ayrı kalibre edilmesi gerekir.

Bu yüzden her bir termokuplun, A ve B katsayılarının ve sıcaklık ifadesini bulan bir bilgisayar programı yapılmış ve " Ek açıklamalar B " de bu program belirtilmiştir.

Buna göre termokuplların sıcaklık ifadeleri

$$T_{kys} = 16.9 + 23.37 V \quad 6.2$$

$$T_{kbs} = 18.6 + 27.03 V \quad 6.3$$

$$T_{kis} = 26.9 + 14.8 V \quad 6.4$$

şeklindedir.

Denklem 6.2, 6.3, ve 6.4, sırasıyla kollektör yüzey sıcaklığını, kollektör boru sıcaklığını ve kollektör iç sıcaklığını ölçen termokuplların sıcaklık ifadeleridir.

6.2 Güneş Işınımı Şiddetini Ölçen Aygıtlar

Güneş enerjisiyle ilgili hesaplamalar yapabilmek için incelenen bölgenin güneş ışınımı şiddetinin bilinmesi gerekmektedir.

Güneş ışınımı şiddeti sırasıyla piranometre,

pirheliometre ve pirradiometre gibi aygıtlarla ölçülür. Bunlardan piranometre için solarimetre, aktinometre gibi adlar da kullanılmaktadır. Ölçülen ışınımı kaydedebiliyorsa yukarıda belirtilen aygıtlar pironograf, solarigraf veya aktinograf adlarını almaktadırlar.

Ayrıca piranometrenin çeşitleri de vardır. Bunlardan Eppley piranometresi, Moll-Gorczynski piranometresi, Volochine termopil piranometresi sayılabilir.

6.2.1 Solarimetre

Yeryüzünde belli bir yüzeye gelen güneş ışınımı şiddeti

$$I_t = I_y + I_d \quad 6.5$$

I_y Yaygın ışınım şiddeti ile I_d direkt ışınım şiddetinin toplamıdır. Solarimetre, toplam güneş ışınım şiddetini ölçer. Çalışmadaki güneş ışınım şiddetinin ölçülmesi Batı Alman malı MOD.776 KBE solarimetresi ile yapılmıştır. Solarimetrenin taşınabilir ve küçük boyutlarda olması kollektörün eğimli yüzeyine gelen ışınımın doğrudan ölçülmesinde kolaylık sağlamıştır.

Solarimetrenin göstergesinde üç ayrı birim bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla,

0 - 400 Btu/h.ft²

0 - 125 mW/cm²

0 - 110 Langleys/h dir. bunların herhangi biriyle yapılan ölçümler gerektiğinde belli katsayılarla çarpılarak gereken birime dönüştürülebilir.

Örneğin, $1 \text{ W/m}^2 = 0.317 \text{ Btu/h.ft}^2$ dir.

6.3 Termometreler

Kollektör giriş, çıkış ve depo sıcaklıklarının ölçülmesi için su termometreleri kullanıldı. Bu termometreler -15°C ile 150°C arasındaki sıcaklıkları ölçebilme özelliğine sahiptirler. Bunların en küçük ölçüm aralığı 1°C dir.

Çevre sıcaklığının ölçülmesi için ise duvar termometresi kullanıldı. Bilindiği gibi bu termometrenin de en küçük ölçüm aralığı 1°C , ölçüm aralığı da -10°C ile 50°C dir.

6.4 Su Saati

Kollektör ve depo arasında doğal konveksiyonla (pompa kullanılırsa zorunlu konveksiyon) oluşan sirkülasyonunun debisini ölçmek için su saati kullanıldı. Su saatinin en küçük ölçüm aralığı 1 lt ve sıcaklığı 90°C ye kadar olan suyun geçişine izin verecek özelliktedir.

7. GÜNEŞ ENERJESİNİN DEPOLANMASI

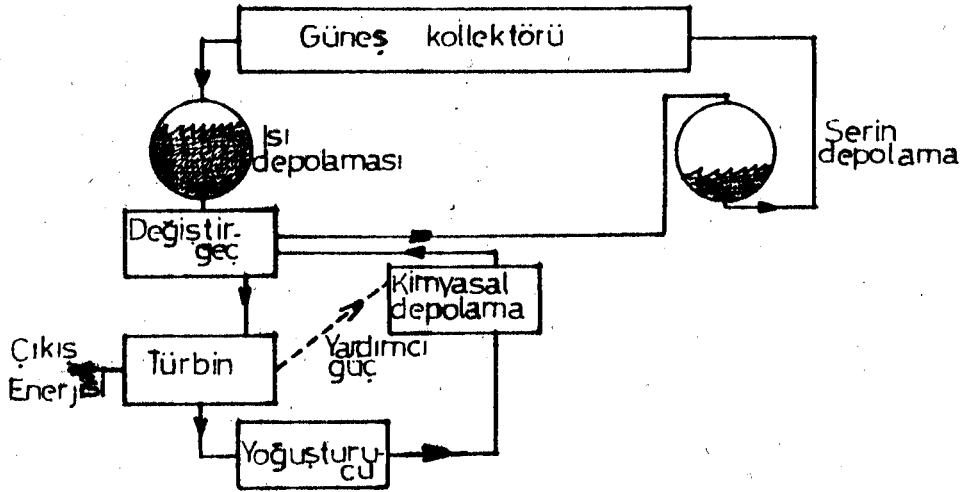
Üzerinde çalışılan en önemli konulardan birisi de güneş enerjisinin depo edilmesidir. Amaç, bol bulunan mevsimde enerjiyi tutmak, yani bir yerde saklamak ve güneşin olmadığı zamanlarda kullanmaktır. Bu konuda bir çok araştırmalar yapılmış ve halen hızlı bir şekilde devam etmektedir. Bu bölümde depolama yöntemlerinden bahsedilecektir.

Kullanışlı bir güneş enerjisinden yararlanma sistemi yapmanın en önemli koşulu iyi bir enerji depolamasının yapımı demektir. Burada kullanışlı bir sistemdeki güneş kolektörü (toplacı) ile birlikte diğer alt sistemler ve sistem özelliklerine değinilecektir. Ayrıca güneş kolektörleri ile elde edilen, sıcak sudan faydalanılabilen bazı orta sıcaklıktaki termodinamik çevrimler tartışılacaktır.

Yüksek konsantrasyon kolektörleri ile kullanılmış tipin yüksek sıcaklık Rankine çevrim sistemleri, aslında alışılmış buhar veya nükleer türbin sistemlerine eş değerdir.

7.1 Temel Sistem Diyagramı

Güneş enerjisi temel sistemi, burada yapılacak inceleme için kolayca tarif edilmiş bazı alt sistemlere sahiptir. Böyle bir sistemin şeması Şekil 7.1 de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Temel sistem diyagramı

17.1.1 Güneş Toplama Bölgesi (Kollektör)

Burada Şekil 7.1 de, güneş enerjisini toplayan kısım bahis konusudur. Enerji burada toplanır, boyut ve maliyet bakımından en geniş alt sistemdir. Tüm sistemin toplam ekonomisi önemli derecede kollektör alt sisteminin maliyetine bağlıdır. Isı transferiyle akışkan kanalı serin akışkanı kollektöre ve ısınmış akışkanı da depolama kısmına sevk eder.

17.1.2 Isı Depolaması

Her güneş enerjisi sistemi bir miktar ısı enerjisi depolamasına sahiptir. Diğer deyimle, bir yere, gerektiğinde kullanmak için fazla enerji temin etmektir. Bununla beraber, ısı depolaması yalnız kısa bir zaman için geçerlidir. Bu depolama saat mertebesinde ve en fazla bir kaç gün olup depolamayı kötü kış günlerine kadar iletmek mümkün değildir. Bununla beraber, iyi bir izolasyonla veya tuzlu güneş havuz-

ları ile ısı depolama müddetini hafta mertebesine çıkarmak mümkündür.

9 7.1.3 Isı Değiştirgeci

Bu değiştirgeç enerji toplacı ve depolama alt sistemi ve kullanma alt sistemi arasında aracılık görevi yapar.

9 7.1.4 Türbin

Türbin alt sistemi burada bir kullanma alt sistemine örnek olarak gösterilmiştir. Böyle bir alt sistem, türbin olacağı gibi, güneş enerjisiyle ısınan bir evde olabilir. Bu kullanma alt sistemi arzu edilen çıkış enerjisini kollektör sisteminden temin eder.

9 7.1.5 Yoğuşturucu (Condenser)

Bir termodinamik çevrim kullanıldığı zaman yoğuşturucu alt sistemi gereklidir. Bir türbin bir gaz absorpsiyon soğutucu sistemi gibi bir kurguya gerek duyar.

Termodinamiğin ikinci kanununa göre; tek ısı kaynağı kullanarak ısı çekmek suretiyle bunu işe çeviren bir ısı makinası yapmak mümkün değildir. Yani biri sıcak ve biri de soğuk olmak üzere iki ısı kaynağına ihtiyaç vardır. Çevrede hiçbir etki bırakmaksızın ısıyı soğuk ısı kaynağından sıcak ısı kaynağına ileten bir ısı pompası (veya soğutma makinası) yapmak mümkün değildir.

maddenin c özgül ısısı ve T sıcaklık farkı ile ifade edilir. Gizli ısı depolaması maddenin hal değişmesi esnasında olanıdır. Madde erirken veya buharlaşırken sıcaklığı sabit kalır ve bu esnada büyük bir gizli ısı kazanır. Burada her iki durum da açıklanacaktır.

7.3.1 Görünür ısı depolaması

Görünür ısı depolaması hal değişimi, yani erime veya buharlaşma, olmayan zamanda maddeye güneş enerjisi depolamasıdır. Sıcaklığın artışı gözle görülür. Bu ortam sıcaklığında olan olaydır. Bir maddenin kütlesine depo edilmiş ısı miktarı

$$Q / m = c \Delta T \quad 7.1$$

formülü ile verilmiştir. Burada c maddenin ısınma ısısı (özgül ısısı) T sıcaklık farkı, Q depo edilen ısı miktarı, m kütledir.

Gaz söz konusu olursa, c sabit basınçtaki özgül ısıdır. $V = m/d$ olduğundan,

$$Q / V = d \cdot c \Delta T \quad 7.2$$

dir. Burada V hacim, d yoğunluktur. Duyar ısı depolama yeteneği $d \cdot c$ çarpımı ile ifade edilir. Isınma ısısının büyük olması nedeniyle, su en yüksek değere sahiptir, yani suyun ısı depolama yeteneği yüksektir. Diğer maddelerinki de yaklaşık ancak suyunkinin yarısı kadardır.

Isı depolaması amacı ile kullanılacak maddeler hem ucuz ve hem de d.c ısı kapasitesine sahip olmalıdır. Su ucuzdur, fakat ancak sıvı halde olduğu zaman ısı kapasitesi yüksektir.

Su ile dolu polyethylene şişeler ve çakıllar da iyi ısı depolayıcılarıdır. Aynı zamanda ucuzdurlar. Bu konu aşağıda ayrıca ele alınmıştır. Isı depolamasında görünür ısı kullanılmasının diğer bir önemli tarafı da ısıнын verilme ve alınabilme derecesinin iyi olmasıdır. Bir maddenin ısı toplama yeteneği aynı zamanda $k / d.c$ termal difüzyivitesinin fonksiyonudur. Burada k ısı iletkenlik katsayısıdır. Termal difüzyivite değerleri de çizelge 7.1 de gösterilmiştir. Bundan anlaşılıyor ki, yüksek ısı kapasitesi ve yüksek ısı iletkenliği bakımından demir saçmalar mükemmel ısı depolama ortamıdır. Su ancak 100°C ye kadar kullanışlıdır, daha yüksek sıcaklıklar için (100°C sıcaklığın üstünde) ısı depolaması, demir ve kırmızı demir oksit birim hacim başına depolama da su kadar iyidir. Tanecik şeklindeki diğer oksitler veya metal kürecikler için maliyet düşüktür. Yumuşatmak veya eritmek için hazır oksit taconite kürecikler idealdir. Demir ve demir oksit eşit etkinliğe sahiptir. Yüksek sıcaklıkta metalin yavaş oksitlenmesi sıvıda olsun veya havada olsun aynı derecede etkin değildir. 7.1 ve 7.2 denklemlerinden

$$M=Q / c\Delta T$$

$$V = Q / d.c \Delta T$$

7.3

dir. Suyu 100°C üzerinde ısıttığımız zaman, $M=8.62 \text{ kg/kwh}$ ve $V=8.62 \text{ lt/kwh}$ olur. Bir bloğa Mwh enerji depo edilmişse, termal olarak suya depo edilen 1000 Mwh ve gerekli su miktarı $M=8.62 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ olmalıdır. Bu da çapı 20.5 m olan bir kürenin hacmi demektir. Örneğin, akışkan sıcaklığı 500°C olduğunda, eğer kullanma sisteminin ısıtılmış akışkanın dönüşüm elverişliliği % 35 ise, 10^3 Mwh elektrik enerji üretimine gerekli olan su deposu 27.8 m çapında olmalıdır. Yeraltı depoları da kullanılabilir.

1 7.3.2 Gizli Isı Depolaması (Ergime)

1 7.3.2.1 Donma ve Erime Noktaları

Bir sıvı soğutulmaya başladığı zaman molekülleri gitgide daha yavaş hareket etmeye başlar. Soğutma sırasında öyle bir sıcaklığa gelinir ki, moleküller olabildiğine düşük kinetik enerjiye sahip olurlar ve moleküller arası çekim kuvvetleri onları bir kristal içinde istiflemeye başlar. Bu durumda sıvı donmaya başlıyor denir. Kristal içinde belli noktalarda yerlerini alan moleküllerin kinetik enerjileri sıvı fazda kalanlara göre daha düşük olacağından, sıvı fazdaki moleküllerin sıcaklığı ve dolayısıyla ortalama kinetik enerjisi yükselecektir. Bu durumda sıvı fazdan ısı çekerek sıcaklığın düşürülüp donma olayının hızlandırılması gerekmektedir.

Katı ve sıvının 1 atm basınç altında dengede bulunduğu sıcaklığa NORMAL DONMA NOKTASI adı verilir. Donma sıcaklığı tüm sıvı donana dek sabit kalır. Donma noktasındaki bir mol sıvıyı dondurabilmek için sistemden uzaklaştırılması gereken enerjiye, MOLAR KRİSTALLENME (DONMA) ENERJİSİ adı verilir. Sıvı ve katı fazların enerjileri arasındaki farka eşit olan bu büyüklük ΔH_d ile gösterilir.

ΔH_d : kcal/mol veya kJ/mol

Kristal halindeki maddeler ısıtıldıklarında 1 atm basınç altında kurulan katı sıvı dengesinin sıcaklığına NORMAL ERİME NOKTASI denir ki, bu sıcaklık donma sıcaklığı ile aynıdır. Bir mol katıyı erime sıcaklığında sıvı hale getirmek için sisteme verilmesi gereken ısıya MOLAR ERİME İSİSİ denir. ΔH_e ile gösterilir.

Molar erime ısısı, sisteme dışardan verildiği için (endotermik) artı işaretlidir. Molar donma ısısı sistemden dışarıya verildiği için (ekzotermik) eksi işaretlidir. Molar donma ısısı ile molar erime ısısı mutlak değerce birbirine eşittir.

Bir katının cismin birim kütlesini, sıcaklık değişimi olmadan sıvı haline geçirmek için, verilmesi gereken ısı miktarına erime gizli ısısı denir.

Maddelerin, faz değişimi sırasında iç enerjilerindeki artış ile sabit sıcaklıkta ısı depolamasıdır. Bütün maddeler faz değiştirebilir, fakat bir-

çok maddenin faz değişimi arzulanan sıcaklıkta değildir.

Gizli ısı depolamasında, sıvı - buhar faz değişiminde enerji depolanabileceği gibi, katı - sıvı fazında da depolanabilir.

Sıvı - buhar faz değişiminde, sabit basınçta hacim çok arttığından veya sabit hacimde basınç çok arttığından, ısı depolamasında fazla tercih edilmez. Bu tür faz değişimindeki ısı depolamasına daha çok soğutma sistemlerinde rastlanmaktadır ve çift depo kullanılmaktadır. Madde, deponun birisinde sıvı fazında diğerinde buhar fazında bulunur. Yutmalı - soğutma sistemindeki su - amonyak karışımı bu tip depolamaya örnek olarak gösterilebilir.

Gizli ısı depolamasında, daha çok, katı - sıvı faz değişiminde yararlanılır. Güneş enerjisiyle her maddeye katı - sıvı faz değişiminde enerji depolanamaz. Bunun nedeni yukarıda da belirtildiği gibi güneş enerjisiyle depolayabilmek için kullanılacak maddelerin düşük sıcaklıkta faz değiştirme özelliklerine sahip olmaları gerekmektedir. Düşük sıcaklıkta faz değiştiren bazı maddeler ve ısı özellikleri Tablo 7.2 de verilmiştir.

Eriyerek faz değiştiren maddelerle, gizli ısı depolaması yanında hissedilir ısı depolaması da yapılır.

Erime sıcaklığı T_e olan bir maddenin katı

haldeki sıcaklığı T_1 ve sıvı haldeki sıcaklığı T_2 ise, katı halden sıvı hale geçen bir maddenin depoladığı ısı miktarı

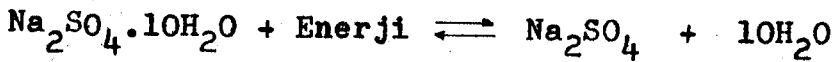
$$Q_d = m(C_p)_k (T_e - T_1) + m h_{ks} + m (C_p)_s (T_2 - T_e)$$

dir. Burada, m maddenin kütlesi, h_{ks} erime gizli ısıdır.

1 7.3.2.2 Gizli Isı Depolamasında Yararlanılabilen Maddeler

Su düşük sıcaklıkta eridiğinden, gizli ısı depolamasından fazla yararlanılmaz. Kalsiyum ile Sodyum tuzlarının erime sıcaklıkları 30 ile 50°C arasında değişmektedir.

Kalsiyum klorid heksahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$),
Sodyum karbonat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$),
Sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$),
Disodyum fosfat dodekahidrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) ve
Sodyum disülfat pentahidrat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en çok bilinenlerdir. Bunlar içerisinde de en çok kullanılan Glauber tuzu olarak tanınan sodyum sülfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dır. Glauber tuzunun tercih edilmesinin nedeni, gizli ısısının yüksek ve diğerlerine göre çok ucuz olmasındandır. 32°C sıcaklıkta,



şeklinde Na_2SO_4 ve H_2O ya ayrışır. Katılaşırken 225 kJ/kg ısı açığa çıkar. İçerisine % 3-4 oranında boraks ilave edildiğinde erime sıcaklığı 1-2°C

düşürülebilmektedir.

Gizli ısı depolamasında yaygın kullanılan maddelerden birisi de parafinlerdir. Erime sıcaklığı arzulanan mertebelere indirilebilmesine rağmen yanıcı olması nedeniyle özel tedbirler alınarak kullanılabilir. Plastik ve bakır gibi bazı maddelere korozyon etkisi vardır. Eridiği zaman hacmi % 220 oranında artar.

1.3.2.3 Gizil Isı Depo Dizaynında Dikkat Edilmesi

Gerekli Koşullar

Düşük sıcaklıkta ısı depolamasında kullanılan faz değiştiren maddelerin ısı iletim katsayıları küçük olduğundan depoya uygun şeklin verilmesine dikkat edilmelidir. Depo içindeki maddenin iç kısmının eriyebilmesi için (veya katılaşabilmesi) depo kesitini çok küçük ve yüzeyinin büyük olması gerekir. Ayrıca korozyona ve sızdırmaya karşı da tedbir alınmalıdır. Glauber tuzu için plastik depolar uygundur. Depo hacmi hesaplanırken, maddenin katı ve sıvı haldeki özellikleri gözönüne alınmalıdır.

1.3.2.4 Gizil ısı Depolamasının Bazı Depolama Şekilleriyle Karşılaştırılması

Diğer depolama şekilleriyle karşılaştırılmasını yapacak olursak faz değiştiren maddelerle belli bir miktardaki ısının depolanabilmesi için gerekli hacim, aynı ısıyı su ve çakıl taşlarıyla depolamak için gerekli hacimden çok küçüktür. Bununla ilgili bir

hesaplama " Ek Açıklamalar C " de verilmiştir. Diğer bir avantajıda, depodan ısı çekilmesi sırasında deposıcaklığının yaklaşık sabit kalmasıdır. Buna karşın, Çakıl taşı ve suya göre çok daha pahalıdır. Bazı maddelerin korozyon problemi vardır. Bu yüzden depo maddesinin seçimi yapılırken bu problem gözönünde bulundurulmalıdır.

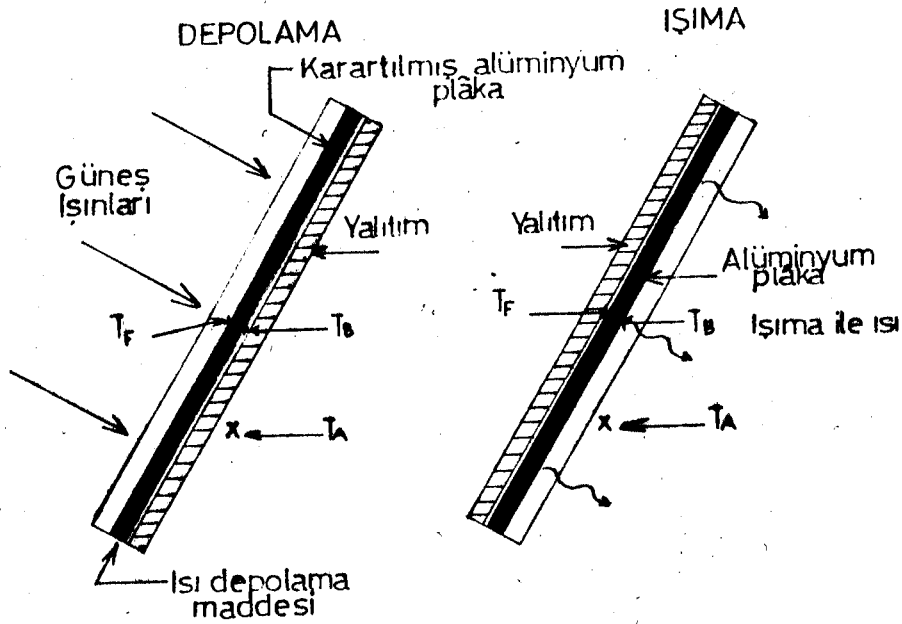
4 7.3.2.5 Glauber Tuzu İle Gizil Isı Depolanmasının Bir İncelenmesi

Bölüm 7.3.2.1 de belirtilen bazı kavramlar bu bölümde de tekrarlanacaktır.

Bir maddeyi katı halden erime noktasındaki sıvı hale değiştirmek için ısı gerekir. Bu ısı sıvı tarafından absorplanır, ve erime ısısı olarak adlandırılır. Madde soğuduğunda bilindiği gibi sıvı halden katı hale dönüşür, ve erime ısısı açığa çıkar. Bazen bu kristalleşme enerjisi olarak da adlandırılır. Bazende normal kristalleşme noktasından daha aşağı sıcaklara kadar soğutuldukları halde kristalleşme olmaz. Buna da süper soğuma (aşırı soğuma) adı verilir.

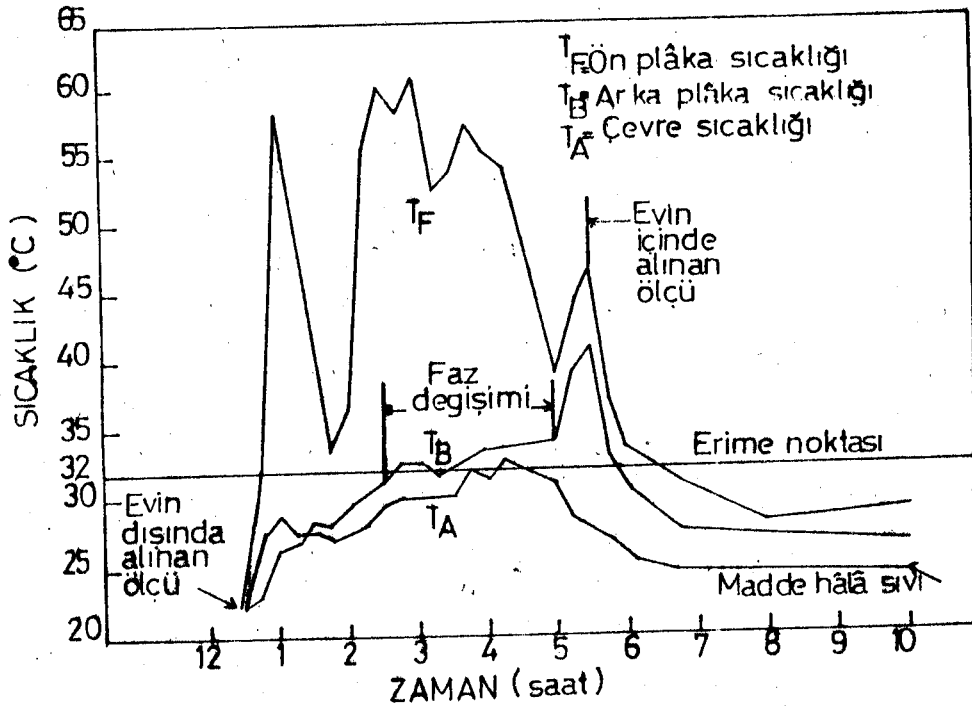
Gizil ısı prensibi kullanılarak güneş enerjisinin depolanmasıyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. Şekil 7.2. Bu çalışmada enerji depolama malzemesi, Glauber tuzu olarak bilinen $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır. Kollektörün ön ve arka yüzündeki plakaların sıcaklıkları ile birlikte çevre sıcaklığı da ölçül-

müştür. Bu ölçümlerin sonuçları, Şekil 7.3 deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 7.2 Glauber tuzunda gizil ısı depolama sisteminin şematik gösterimi (25).

Şekil 7.3 deki grafik incelenecek olursa, öğleden sonra 2^{30} ile 5^{00} arasında kollektör yüzeyine gelen güneş enerjisi Glauber tuzunun sıvı hale dönüştürmüştür ve bu esnada gizil ısı absorplanmıştır. Sonra tuzun hepsinin eridiğini gösteren sıcaklıkta keskin bir artış gözlenmiştir. 6^{30} dan sonra kollektörün güneş ışınlarını alması engellenmiş ve kollektörün ön yüzeyi odaya çevrilmiştir. Bundan sonra sıcaklık düşmeye devam etmiş ve maddenin hala büyük



Şekil 7.3 Glauber tuzunda yapılan deneyin sonuçlarını gösteren grafik (25).

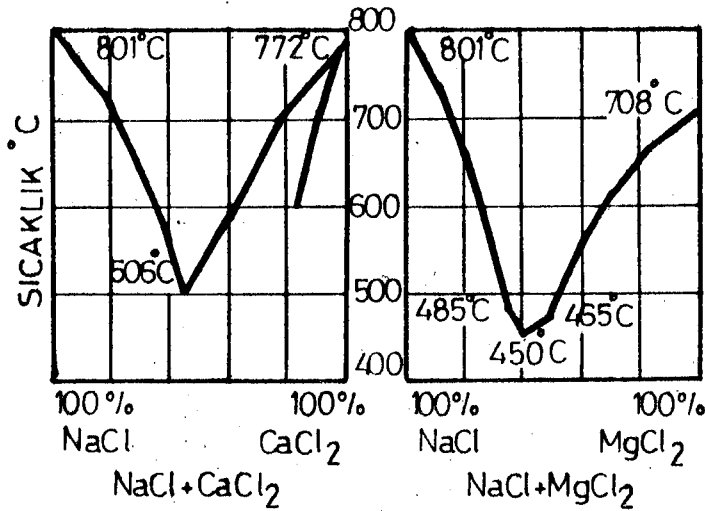
çoğunluğunun sıvı halde kaldığı gözlenmiştir. Bu süper soğutulmuş bir sıvıdır ve erime gizli ısıyı açığa çıkarmamıştır. Bu yüzden bir ısı kaynağı olarak kullanılamaz. Oysa pratikte gizli ısıdan yararlanılabilmemesi için verilen ısıнын açığa çıkması gerekmektedir. Bu da maddenin düşük sıcaklıklarda ergimesi, soğutulduğunda donma noktasında kristalleşmesidir. Dolayısıyla madde ergime ve donma noktalarında madde aynı olayları periyodik olarak sağlamalıdır. Böylece de enerji alış verişi sağlanmış olur.

Yukarıda da belirtildiği gibi madde, donma noktası olan 32°C de kristalleşmemiş, büyük çoğunluğu hala sıvı halde kalmıştır. Bilindiği gibi bu isten-

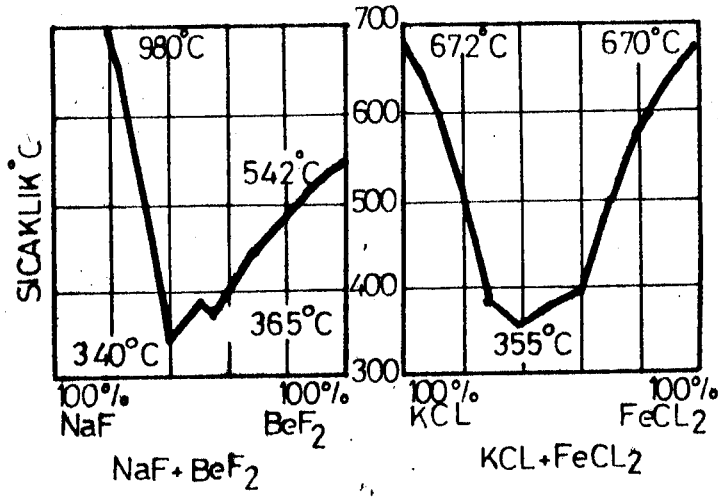
meyen durumdur. Bu yüzden Glauber tuzunun süper soğuma (aşırı soğuma) eğiliminin yenilmesi deneyci için bir hedef olmalıdır.

Diğer bir gizil ısı depolama maddesi de stearik asit (parafin) ile oleik asidin (sıvı) bir karışımıdır. Bu karışımın süper soğuma gibi bir problemi yoktur. Fakat bazı maddelere karşı korozyon etkisi vardır. Bu karışımın ergime sıcaklığı yaklaşık 50°C dir.

Ayrıca iki maddenin karışımı da ergime sıcaklığını düşürmektedir. Şekil 7.4 ve 7.5 tede görüldüğü gibi amaca uygun sıcaklık dereceleri elde etmek için karışımlardan da yararlanmak mümkündür.



Şekil 7.4



Şekil 7.5

7.4 Çakıl Taşlarıyla Isıl Enerji Depolaması

Güneş enerjisini suda depolayabiliriz, sonra da bu enerjiyi odanın havasına transfer ederek, havanın sıcaklığını arttırabiliriz. Diğer bir yöntem de güneş enerjisiyle havayı ısıtarak, bu ısıyı hareketsiz ağır bir maddede (çakıl gibi), depolayabiliriz. Sonra da bu ısıyı odanın havasına transfer ederek odanın sıcaklığını arttırabiliriz.

Bunun içinde eski nehir yataklarından sağlanan çakıl ucuzdur ve bu işlek için kullanılmaya elverişlidir. Bir de çakılın hava akışına karşı gösterdiği direnç düşüktür.

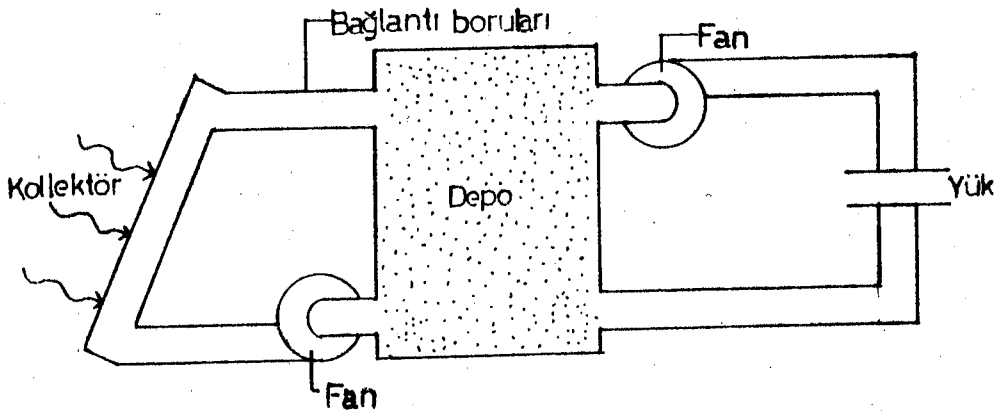
Çakılların boyutları 4 - 5cm çapında ve birbirle-

riyle iyi bir kontakt içinde olmalıdırlar. Bazı kaynaklarda çakıl boyutunun 2,5 - 7,5 cm çapında olması gerektiğini önermektedirler. Kollektörden elde edilen sıcak hava depoya transfer edilip, bu hava ısısını taşlara aktarırken % 30 luk boşluk elverişli bir hava koridoru oluşturur.

7.4.1 Çakıllara Depolanan Güneş Enerjisi Isıtma Sistemi

Şekil 7.6 da görüldüğü gibi sistem, sıcak havanın elde edildiği hava kollektörü, içinde sıcak havanın konveksiyonla depoya transfer edildiği bağlantılar (borular), çakıl taşların bulunduğu bir depo ve çakılların arasından geçtikten sonra tekrar kollektörün girişine havanın verilmesini sağlayan bağlantı borusudur.

Bir de hava sirkülasyonunu başlatıcı ve gerektiğinde durdurmak için, sıcaklık kontrollü bir fan konur.



Şekil 7.6 Güneş enerjisini çakılda depolayan bir ısıtma sistemi

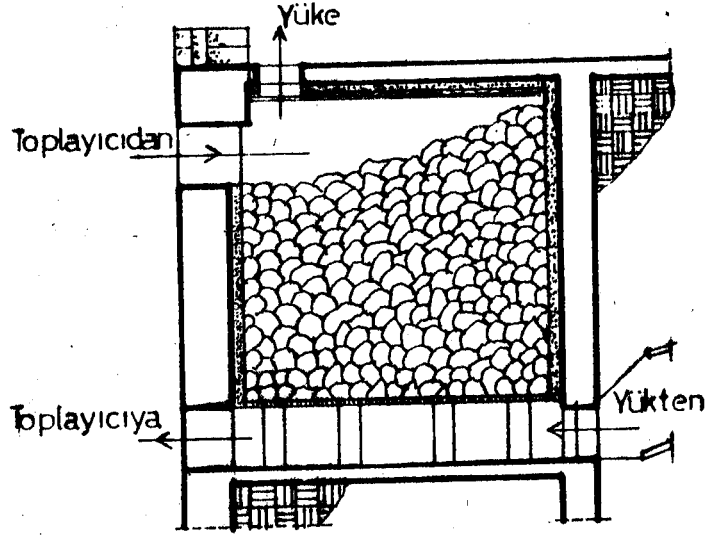
1 A.4.2 Sistemin Çalışması

Güneş kollektöründe toplanan güneş enerjisi, kollektördeki siyah yüzeyi ısıtır. Isınan siyah yüzey, enerjisini saydam örtü arasında kalan havaya konveksiyon yoluyla aktarır. Sonra ısınan hava bağlantı borularının içinden geçirilerek deponun üst girişinden girer ve deponun altından çıkar. Hava çakılların arasından geçerken de ısınıp çakıllara aktarır. Hava deponun altından soğumuş olarak çıkar ve kollektörün girişine verilir.

Bu şekilde oluşturulan sürekli bir sirkülasyon, kollektördeki havanın sıcaklığının, ortalama depolama sıcaklığından daha yüksek oluncaya dek, mümkün olduğunca uzun bir süre sürdürülür.

Sistemde kullanılan termostat, fanı gerektiğinde çalıştırması ve durdurması için kullanılır.

Isı deposuna enerjinin hava dolaşımıyla verildiği veya çakıldığı sistemlerde, toplayıcı devresi ve ısı yük devresi aynı anda çalıştırılmazlar. Diğer bir deyişle, depoya ısı verilmesi ve çekilmesi aynı anda olmaz. Depolanan enerji miktarına, toplanabilen enerji miktarına ve ısı ihtiyacına göre devrelerden birisi kapatılır, diğeri açılır. Şekil 7.7 de çakıl taşı hava dolaşımli ısı deposu gösterilmektedir.



Şekil 7.7 Çakıl taşlı hava dolaşımli ısı deposu

7.4.3 Sistem Dizaynında ve Yapımında Dikkat Edilmesi Gerekli Koşullar

1. Enerji kaynaktan depoya, mümkün olduğunca birkaç adımda transfer edilmelidir.
2. Isı akışının sağlandığı kanallar (borular), mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.
3. Arzulanmayan ısı kayıplarını mümkün olduğunca azaltmak için izolasyonda gereken hiçbir şeyden kaçınılmamalıdır. Borularda yapılması gereken izolasyonun, kritik yarıçap hesabı " Ek açıklamalar D " da verilmiştir.
4. Sirküle edilen havanın kaçmaması için de gerekli her türlü önlem alınmalıdır.

7.4.4 Sistemin Özellikleri

Çakıl taşlı havalı ısı depolama sistemleri, ısıtma ve soğutma sistemlerinin her ikisine de uygu-

lanabilir. Geceleri, dış hava depodan dolaştırılarak depo sıcaklığı düşürülebilir ve gündüzleri oturma mahallinin sıcak havası depodan geçirilerek soğutulabilir.

Çakıl taşlarıyla hava arasındaki ısı geçişi miktarı, depo içindeki basınç düşüşü ile ters orantılı olarak değişir. Basınç düşüşünün az olması için, havanın akış doğrultusundaki depo uzunluğunun kısa, parçacıklar arasındaki boşlukların fazla ve uniform büyüklükte olması gerekir. Isı geçişinin fazla olması için ise, ısı taşının yüzeyinin büyük, yani belli bir hacimdeki depoda bulunan parçacıkların sayısı fazla ve havanın depo içindeki akış mesafesi büyük olmalıdır. Pratikte, basınç düşüşünün 3 - 12 mm su sütunu aralığı için, 2 cm-4 cm çapında çakıl taşları kullanılır. Yüksekliği 1,5 - 2 m olan silindirik depolar seçilir. Hava debisi 0,6 ile $4\text{m}^3/\text{s-m}^2$ mertebesinde dir.

7.4.5 Çakıl Taşlara Enerji Depolama Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları

Havali ısıtma sistemlerinde ve seralarda güneş enerjisinin depolanması, daha ziyade çakıl taşları ile yapılır. Çakıl taşları ucuzdur ve kolay temin edilebilirler. Alevlenme ve toksitlenme özellikleri yoktur. Yüzey alanları büyük olduğundan hava ile çakıl taşları arasındaki ısı geçişi iyidir. Ayrıca, taşların birbirine temas yüzeyi küçük olduğundan

taşlar arasında iletimle ısı geçişi küçük, dolayısıyla depo kenarlarından çevresine ısı kaybı azdır. Çakıl taşlarının ısı enerji depolamasındaki, bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Hacımsal özgül ısıları küçük olduğundan (Tablo 7.1) belli bir miktardaki ısı enerjisinin depolanabilmesi için suya göre daha büyük hacim gerekmektedir. Ayrıca, çakıl taşları arasında havanın dolaştırılabilmesi için gerekli güç, su ile depolamada suyun dolaştırılabilmesi için gerekli güçten daha fazladır.

	Yoğunluk kg/m ³	Özgül ısı c_p kJ/kg-K	Isı iletim katsayısı, k W/m-K
Granit	2600-2900	0.754	2.908-4.071
Bazalt	2900	0.795	1.675
Kireç taşı	2650	0.837	2.210
Kum taşı	2200-2500	0.712	1.279-2.093
Nehir taşları	2245-2566	0.71-0.92	1.250-4.00
Mermer	2500-2800	0.795	2.093-3.489

Tablo 7.1 bazı taşların 20°C sıcaklıktaki ısı özellikleri

7.5 Kimyasal Bataryalar

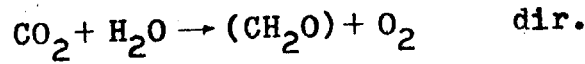
Bu depolama şekline kadar anlatılanlar kısa süreli depolama şekilleri idi. Bundan sonrakiler ise, uzun süreli depolama şekilleridir. Bilim adamlarının çok durdukları konulardan birisi de güneş enerjisinin elektriğe dönüşümüdür. 19 uncu yüzyıldan beri

dir. Buna biyolojik dönüşüm de denir. Bitkiler güneş enerjisini nasıl uzun zaman depo edebiliyorsa, insanlar da, buna benzer olarak, bunu depo edebilme ümidiyle çalışmalara başlamışlardır.

Fotosentez

Biyolojik depolamanın anlaşılması için, kısaca fotosentezden bahsedilecektir. Soğrulan ışık enerjisi kimyasal enerji haline dönüşür ve bu da fotosentez için kullanılan enerjidir. Fotosentez, ışık enerjisi kullanılarak organik bileşiklerin kullanılması olayıdır. Organizmaların evriminde ışık enerjisini kullanma yeteneği en önemli gelişme olmuştur.

Fotosentez konusunda birçok kompleks reaksiyonları özetleyen denklem



dir. Yeşil yapraklar tarafından soğrulan ışık enerjisi, karbondioksit ve suyu, karbonhidratlara ve oksijene çevirmek için kullanılır. Meydana gelen karbonhidratlar, daha sonra bir ototrofun aminoasitleri, proteinleri, yağları ve hücrelere gerekli diğer maddeleri sentezlemesi için, hem hammadde hem de enerji kaynağı olarak kullanılabilir (1).

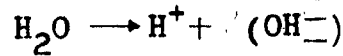
Fotosentez hızı aydınlanma şiddeti ve karbondioksit konsantrasyonu ile artar.

Bir ototropun yeşil hücreleri alınır, ezilir ve yeşil maddesi alkol veya asetonda eritildikten sonra bu çözelti kromatografi denilen bir teknikle ayrılır-

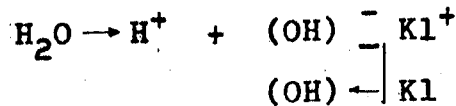
sa, hemen her zaman iki bileşik bulunur. Bu bileşikler, klorofiller olarak bilinen bir madde grubuna girer. Bunlardan birine klorofil a(k_a), diğerine klorofil b(k_b), denir. Klorofillerin, özellikle klorofil a'nın deneysel incelenmesi, onların ışık spektrumunun kırmızı ve mavi bölgelerindeki dalga boylarını kuvvetle soğurduklarını fakat yeşil kısmını yansıtma eğiliminde olduklarını gösterir.

Soğurdukları ışık enerjisini, fotosentezin kimyasal enerjisine dönüştürdükleri için klorofiller çok önemlidir. Klorofiller, özellikle k_a , emilen enerjiyi hücrel reaksiyonlara aktarma yeteneğine sahiptir. Bu reaksiyonlar ototrofun hücresinde bulunan kimyasal bağ enerjisinin tümünü meydana getirir.

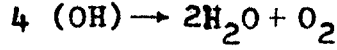
Su, az miktarda, hidrojen ve hidroksil iyonlarına ayrılır.



Hidroksil iyonlarındaki elektron birkaç ara bileşikten geçerek, elektron alıcı durumundaki klorofil moleküllerine ulaşır. Klorofil molekülünü (kl) ve elektron kaybetmiş şeklini ise (kl^-) ile gösterirsek bu olay



Bundan sonra (OH) grupları kaybettikleri elektronu karşılamak için birleşerek su ve oksijen meydana getirirler.



Elektrolizde elektrik enerjisi, fotosentezde ise ışık enerjisi elektronları hareket ettirir.

Kısaca, ışık enerjisini kullanarak organik maddelerin sentezlenmesiyle sonuçlanan kimyasal reaksiyonların hepsine birden fotosentez diyoruz.

7.7 Sıkışmış Hava

Güneş enerjisinin elektriğe dönüşümü ucuza mal edilirse, güneşin bol olduğu mevsimde, büyük depolara hava depo edilebilir. Bilhassa yer altındaki mağaralar bu işe elverişlidir. Maliyeti düşürmesi bakımından büyük mağaraların bulunduğu veya büyük mağaraların yapımının kolay olduğu tuzlu bölgelerde bu gibi çalışmaları yapmak tercih edilmektedir. Bu şekilde hava sıkıştırması bir türbinle yapılabilir. Enerjinin az olduğu mevsimde de bu havayla aynı türbin çalıştırılarak bir üreteç olarak kullanılabilir. Basıncı hava, makinaları çalıştırmak için hazır bir potansiyel enerji demektir.

7.8 Hidrojen Üretimi

Dünya'da enerji konusu bütün ülkeleri etkilemekte olup üretimi ve tüketimi de gittikçe artmaktadır. Petrol ve kömür gibi enerji kaynakları da yakın gelecekte tükenecektir. Aynı zamanda son yıllarda da fiyatları hızla yükselmekte ve ekonomik problemleri de ortaya çıkarmaktadır.

Bilindiği gibi hidrojen yanıcı, oksijen ise yakıcı bir gazdır. Hidrojenin yanma ısısı oldukça yüksek, zehirli etkisi yok, hava kirlenmesi yaratmaz, doğadaki miktarı sonsuz olup tükenmez, yanmakla doğa dengesi bozulmaz. Dolayısıyla geleceğin enerji kaynağı olarak HİDROJEN üzerinde önemle durulmalıdır.

Hidrojen, suyun ayrıştırılması suretiyle üretilmektedir. Başlıca üretme yöntemleri şunlardır.

1. Elektroliz
2. Yüksek sıcaklıkta suyun ayrıştırılması
3. Işık etkisi ile suyun ayrıştırılması

Gelecekte hidrojenin bol miktarda üretimi için güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, biogaz, denizin yüzü ile dibi arasındaki sıcaklık farkı... gibi enerji kaynakları düşünülmektedir ve bu konularda yoğun çalışmalar devam etmektedir.

Güneş enerjisi ile ucuz ve bol miktarda elektrik üreterek, elektroliz yöntemi ile, hidrojen üretilir. Güneş ışığından yararlanılarak ışık etkisiyle suyun ayrıştırılması yapılabileceği gibi, güneş enerjisiyle yüksek sıcaklık elde edilip suyun ayrıştırılması da yapılabilir. Bir çok ülkede sonsuz denecek derecede, rüzgar ve dalga enerjileri vardır. Buralarda elektrik üretilip elektroliz yolu ile su ayrıştırılır ve hidrojen ile oksijen üretilir. Bu enerji kaynaklarının çok etkili olduğu bölgeler

tüketim merkezlerine uzak olduğundan, elektriği çok uzaklara iletmek ekonomik olmaz. Ancak hidrojen üretilip nakletmek daha uygundur. Demek oluyor ki, hidrojen bu enerji kaynakları ile tüketim bölgeleri arasında köprü oluşturacaktır.

Diğer enerji kaynakları ile de aynı işlemler yapılabilir. Örneğin, Ekvator bölgesinde denizlerin dibi ile yüzeyi arasında sıcaklık farkı biraz fazladır, amonyak kullanarak buhar türbini çalıştırılır, elektrik üretilir ve neticesiyle hidrojen üretilir. Jeotermal enerjinin olduğu yerde de aynı işlem yapılabilir.

7.8.1 Hidrojenin Önemi ve Özellikleri

1. Elektriğe göre, tüketim için gaz halindeki hidrojenin borularla nakli ve dağıtımı daha ucuzdur. Hidrojen önemli derecede enerji depolayıcıdır. Güneş enerjisinin uzun süre depo edilmesi denilince hidrojen üretimi akla gelmelidir. Dalga, rüzgar gibi diğer alternatif enerji kaynakları için de aynı düşünce geçerlidir.

2. Hidrojen hava ve su kirliliği yaratmaz, çok temiz bir enerjidir. Saf oksijenle yakıldığında meydana gelen madde sadece sudur, hiç kül meydana gelmez, suyun da zararsız olduğu bilinmektedir. Aslında, hidrojen yanarken su buharı meydana gelir ve bu da birçok alanda kullanılır. Hidrojen şehir içinde nakledilme bakımından da temiz bir yakıttır,

borularla korkusuzca nakledilebilir, zehirli etkisi yoktur.

3. Ağırlık olarak, birim kütlede (kg) benzine göre sıvı hidrojenin enerjisi 2.75 kat daha fazladır. Sıvı hidrojen uçaklar, roketler, vapor, tren, otomobil gibi taşıtlar için daha uygun bir yakıttır.

4. Şu anda doğal gaz yakılan bir yerde hidrojene dönülse, tesisat ve depo sistemlerinde önemli bir değişme olmaz. Hidrojen gazının viskozitesi doğal gazınkinden az olduğundan, boruların akım kapasitesi üç kat azaltılabilir ve daha dar borularla aynı hacimde gaz nakledilebilir. Veya mevcut borularla, eşit zamanda, üç kat fazla hidrojen nakledilebilir.

5. Kömür veya petrol yerine hidrojen yakıldığında, çelik yapılarda bir azalma olur, büyük depolara gerek yoktur.

6. Endüstride birçok maddelerin bileşiminde bulunur.

7. Tabiat da sonsuz miktarda vardır. Uygulamaya dönük bir çalışma yaparken, hammaddenin rezervinin bulunup bulunmadığı öncelikle incelenmelidir. Hidrojen, suyun bileşiminde bulunup doğada en bol bulunan maddelerdendir.

8. Hidrojen en hafif yakıttır, kapsadığı enerji sabit tutulduğunda yaklaşık olarak fosil yakıtlardan üç kere daha hafiftir. Fakat hacimce daha büyüktür. Alev hızı da yüksektir.

Örneğin, doğal gazın alev hızı 0.41m/sn iken hidrojeninki 3.45m/sn dir. Havada benzinin alev sıcaklığı 2197°C, doğal gazınki 1875°C ve hidrojeninki 2045°C dir. Benzinin ateşleme sıcaklığı 257°C, doğal gazınki 540°C ve hidrojenin ateşleme sıcaklığı 585°C dir. Görüldüğü ki hidrojenin alev parlaklığı da düşüktür.

9. Kullanma yerlerinde, diğer enerjilere dönüşürken, verimleri çok yüksektir. Örneğin, kömür yakılan sobaların verimi % 20 nin üzerine çıkmaz, çünkü ısının büyük bir kısmı dumanla kaybolur, bir kısmı da kül ile kaybolarak faydalı enerji azalır. Hidrojen yakıldığı zaman verim çok yüksektir, hatta yanma sonunda meydana gelen ürün su buharıdır.

10. Yüksek alev hızı ve geniş hava - yakıt yanma karışım sınırları gibi özellikleri hidrojeni içten yanmalı motorlar ve jet motorları, gaz türbinleri için çok iyi bir yakıt yapar. Yüksek ateşleme sıcaklığı ve düşük alev parlaklığı hidrojeni daha emniyetli kılar.

11. Hidrojen yenilenebilen bir yakıttır. Yanma ürünleri zararlı olmayıp (su buharı) yenilenebilir, yani yanma sonunda meydana gelen su tekrar ayrıştırılabilir.

12. Suyun ayrışması ile elde edilen oksijen de çok önemlidir. Yakma işlemlerinde kullanılır, yanma verimini arttırır. Atmosfere bırakılırsa havayı temizler, endüstride kullanılır, çevresel temiz-

lemelerde kullanılır. Örneğin, kirlenmiş göllerin, nehirlerin temizlenmesi ve şehir artıklarının temizlenmesi için kullanılır. Oksijen mikropları öldürür, yaraları temizlemek için oksijenli su kullanılmaktadır.

7.8.2 Hidrojenin Kullanılma Yerleri

Hidrojen, endüstrinin ısı gereksinmesinde konut ısıtmada fırınlarda doğrudan doğruya yakıt olarak kullanılabilir. Kağıt, kimya endüstrisi, süt fabrikaları, konserve fabrikaları, kükürt ve tekstil, şeker fabrikaları gibi su buharına gereksinme duyulan yerlerde su ısıtılarak değil, hidrojenin oksijenle yakılmasından elde edilir. Bu şekilde verim % 100 dür. Yüksek fırınlarda demir veya diğer madenlerin eritilmesinde kömür yerine hidrojen kullanılabilir.

Endüstrinin, bina ve evlerin elektrik gereksinimleri hidrojen pilleri ile karşılanabilir. Bu pillerde hidrojen ve oksijenin birleşmesiyle elektrik verir, verim % 60 - 70 dir. Bu verimin daha da arttırılması için çalışmalar sürdürülmektedir

Hidrojen çok verimli bir enerji taşıyıcısıdır. Mesafesi 200 mil (320 km) den fazla olan yerler arasında enerjiyi hidrojen olarak nakletmek, elektrik olarak nakletmekten daha ekonomiktir. Ayrıca, hidrojen boru hattı, yüksek gerilimli elektrik hatlarından çok daha az bir yer şeridi işgal eder. Hidrojenin diğer bir avantajı da depolanabilir

olmasıdır, halbuki elektrik enerjisi nakledildiği anda kullanılmazsa ziyan olur.

Hidrojen taşıt araçları için de çok elverişli bir yakıttır. İdeal yanma nitelikleri ve hafifliği önemini daha da arttırmaktadır. Otomobil motorlarında, fosil yakıtlardan daha yüksek bir verimle % 40 - 60 mekanik enerjiye çevrilebilir. Bundan başka, hidrojen yakıtlı motorlar için kirletici arıtma cihazlarına da gereksinme yoktur. Bununla beraber, enerji tasarrufu daha fazladır. Tren, vapor ve uçak işletmesi için de hidrojen çok idealdir. Daha hafif olduğu için jet yakıtından kalkışta uçakların havalanma ağırlığını azaltarak yakıt tüketimini daha da düşürür. Hidrojen süpersonik (sesten hızlı) uçaklar içinde çok elverişlidir. Yanma ürünü su buharı olduğu için ozon tabakasına zarar vermez. Motorlar küçüleceği için gürültü azalır, enerji tasarrufu nedeniyle yolculuk masrafı da azalır.

Maliyet bakımından da yeni enerji kaynakları ve hidrojen üretimi, yakın gelecekte çok ucuza düşecektir. Çünkü kömür, petrol, elektrik fiyatları hızla artmaktadır. Baraj yapımı (hidrolik enerji), termik santraller, nükleer kurgular da çok pahalı ya mal olmaktadır. Bunlardan her bir tesis de yüz milyarlarca ve bazıları trilyona mal olmaktadır. Bu nedenle, yeni enerji kaynaklarına yapılacak yatırımların daha pahalı olacağı söylenemez. Bilim adam-

larının düşüncelerine göre, 1990 yılından itibaren hidrojen daha rentabl olacaktır. Bu yıllarda güneş pilleri de daha ekonomik olacaklardır.

Sonuç olarak yukarıda anlatılanların sonucu hidrojen geleceğin bir numaralı enerji kaynağı olmaya namzettir.

7.8.3 Güneş Enerjisi Kullanarak Suyun Ayrıştırılması

Su, birçok yollarla güneş enerjisiyle ayrıştırılarak hidrojen ve oksijen üretilir.

1. Fotokimyasal olarak,
2. Elektroliz ile (önce güneş enerjisinin dönüşümü ile elektrik elde edilmelidir),
3. Yüksek sıcaklıkta ayrışma. Bundan başka termoelektrik ve termiyonik yöntemler de vardır.
4. Termokimyasal çevrim yöntemi.
5. Bu yöntemlerden iki veya daha fazlası birleştirilerek hidrojen ve oksijen üretilir (karma yöntemi).

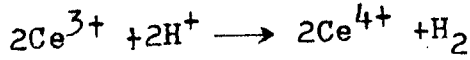
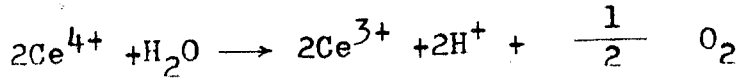
7.8.3.1 Işıkla ayrıştırma

Hidrojen ve oksijen elde etmek için, oda sıcaklığında su ışıkla ayrıştırılabilir. Maksimum etkin dalga boyu 1800 Å^0 (angström)¹ olduğu saptanmıştır. Fakat şanssızlık, yeryüzünde reaksiyonu gerçekleştirmek için bu dalga boyu küçüktür. Güneşten yeryüzüne ancak dalga boyu 3000 Å^0 ile 30000 Å^0 arasında olan ışınlar ulaşır.² Suyun ayrıştırılması için, ancak morötesi ışınlar etkilidir.

¹ $1 \text{ Å}^0 = 10^{-8} \text{ cm}$

² 3 mikron ile 0.3 mikron arası

Işığın etkisiyle, suyun hidrojen ve oksijene ayrılması için aşağıdaki reaksiyonlar zinciri mevcuttur.



Birinci reaksiyon ancak 4000 Å⁰ dalga boyundaki ışınlarla etkin şekilde oluşur ve ikincisi ise 2537 Å⁰ de oluşur. Oda sıcaklığında, bu ikili reaksiyondaki entalpi miktarının artması 68,4 Kcal/mol dur. Bu yöntemle hidrojen üretilmiştir, fakat verim yüzde 0,13 ü geçmemiştir (2).

7.8.3.2 Görünür Işıkla Hidrojen Üretimi

Nötr sulu çözeltilerin görünür ışıkla aydınlatılması ile hidrojen katalitik olarak üretilir. Katalizör reaksiyonu kolaylaştırmaktadır. Hidrojen, nötr sulu çözeltilerin görünür güneş ışığı ile aydınlatılmasından, katalik olarak önemli miktarda üretilmektedir. Bu çalışmalar için bir çözeltinin aşağıdaki maddeleri içermesi gerekmektedir.

1. Elektron verici: Ekseriyetle tertiariaminler (deney en çok PH 1 takriben 7 olan tampon trietanolamin ile başarılı olmuştur).

2. Bir ışığa duyarlı olan photosensitizer: Ru(bipy)₃²⁺ bileşiği veya proflavine gibi acridine boyaları.

3. Elektron depolama ve aktarma işlemi için bir tür: Rhodium bileşikler geçeri Rh(L-L) örneğin

2,2 bipyridine, ortho-Phenanthroline vs, ekseriya Rh (bipy)₃³⁺ kullanıldı.

4. Bir katalist: K_2PtCl_4 veya K_2PtCl_6 tarzında kollodial platinyum.

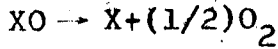
Belli şartlar altında, güneş ışınlarının taşıdıkları fotonlar su moleküllerince soğrulabilmektedir. Bu enerji 68.3 KCl/mol su seviyesine erişince H_2 ve $1/2O_2$ serbest hale gelmektedir. Bu olaya fotoliz denilmektedir. Morötesi ışınların taşıdığı enerji sunun fotolizi için daha uygundur. Fakat güneşten yeryüzüne gelen mor ötesi ışınlar çoğunlukla atmosferin yukarı katlarında soğurulmakta, yeryüzüne gelinceye kadar şiddeti azalmaktadır. Yukarıda da açıklandığı gibi görünür ışıkla başarılı olmak için katalizörler kullanılmaktadır. Görünür bölgede güneşten gelen ışınlar oldukça şiddetlidir. Bazı tuz bileşikleri, yarı iletkenler, foto sentetikler foto katalizör olabilir Biyolojik katalizörler de vardır, örneğin klorofil, protein güneş enerjisini soğurmaktadır.

7.8.3.3 Yüksek Sıcaklık

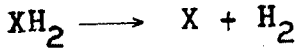
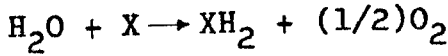
Gördük ki, ısı veya iş veya her ikisini kullanarak, su ayrıştırılabilir. Eğer suyun ayrışması için güneş enerjisinin ısıya dönüşmesi gerekiyorsa aşırı derecede yüksek sıcaklık gerektir. Eğer ısı enerjisi yalnız başına kullanılacaksa, atmosfer basıncında tam ayrışması için $5175^{\circ}C$ sıcaklık gereke-

cektir. Yüksek sıcaklıkta, çok kademeli bir işlem daha verimli olabilir. Böyle çok safhali işlemler iki kısma ayrılmıştır.

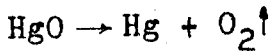
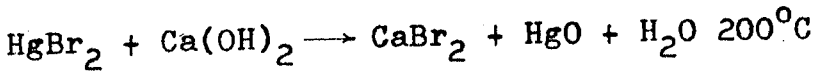
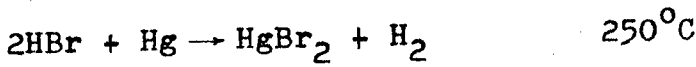
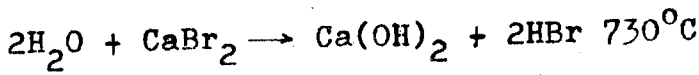
Oksit reaksiyonları



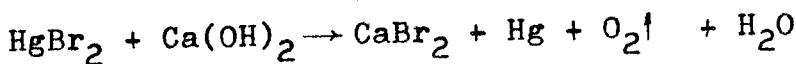
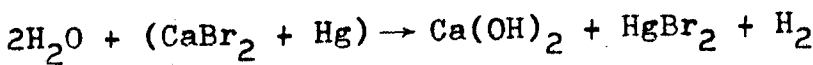
Hidrojen (Hydride) reaksiyonları

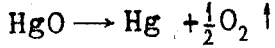


Bu tip reaksiyonlar, nükleer enerji kullanarak, hidrojen üretimi için başarılı olarak kullanılmıştır. Önerilen bu şemalardan biri, ardışık sıralı dört kademeli bir reaksiyon olup bununla 730°C de, yüzde 50 nin üzerinde verimle, su ayrıştırılmıştır. Ardışık sıra aşağıda verilmiştir.



Bu reaksiyon oksit tipidir, bundan dolayı şu iki reaksiyona indirgenebilir.(2).



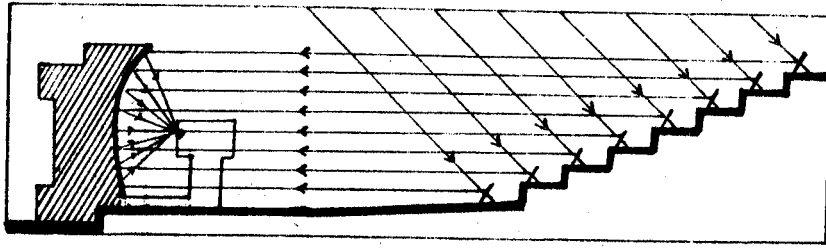


Biraz yukarıda değindiğimiz gibi, eğer 5175°C sıcaklığa ulaşırsa su % 100 ayrışacaktır, yani hidrojen verimi % 100 olacaktır. Fakat 2000°C ve 3000°C gibi sıcaklık derecelerinde de hidrojen üretilir, bu derecelerde verim % 30 ile % 40 civarındadır. Basıncın da verime etkisi vardır, basınç düşünce verim artar. Örneğin, verimin % 40 olması için 0.01 atm de sıcaklık 2000°K , 0.1 atm de 2500°K , 0.5 atm de 2750°K ve 1 atm de 3000°K olmalıdır. Eğer sıcaklık 4000°C ye ulaşırsa verim % 60 - 70 olabilir.

Güneş fırınları ile yüksek sıcaklık elde edilmektedir. Örneğin Fransa' nın Odeillo kentindeki çok büyük iç bükey aynanın odak noktasında 3800°C sıcaklık elde edilmiştir, odak civarında ortalama sıcaklık 3000°C dir. Bu sistem şekil 7.8 de şematik olarak gösterilmiştir. Dünya' nın birçok yerlerinde güneş fırınları ve Heliostatlar yapılmıştır. Eğer çok yüksek sıcaklık elde etmek kolaylaşırsa doğrudan güneş enerjisiyle su ayrıştırılabilir, hiç bir ara maddeye gerek yoktur. Daha düşük sıcaklıkta çalışılmak istendiğinde, katalizör kullanılmalıdır.

7.8.4 Hidridlere Depolama

Hidrojen bazı metal element ve alaşımlarla, fazla yüksek olmayan basınç ve sıcaklıkta bileşikler oluşturur, bunlara hidrid denilmektedir. Bu durumda



Şekil 7.8

hidrojen daha yoğun olarak depolanmaktadır. Hidridlerin içine depolanan hidrojenin ısı ile ve basıncın azaltılmasıyla serbest hale gelmesi mümkündür.

Genellikle atomlarındaki dış yörüngeleri elektronlarla tamamen dolu olmayan maddeler hidrid reaksiyonlarına daha uygundur, bu durumda bileşik oluşumu kolaylaşmaktadır. Reaksiyon hızı maddenin alanı ile artmaktadır, bunun için toz haline getirmek yararlıdır.

Hidrojen depolamadan başka, hidrid reaksiyonlarından şu uygulamalarda da yararlanılabilir: Artık ısı depolama, elektrik enerjisi depolama, ısıtma ve soğutma, elektrik üretme, pompalama, hidrojen arıtma, deuterium ayrıştırma.

Hidrojeni sıvı, gaz, katı şekillerinde depolamak mümkündür. Hacim açısından en uygun depolama şekli katı hal (hidrid) olduğu anlaşılmıştır. En güvenli malzeme Fe-Ti olarak tesbit edilmiş olup ayrıca MgH_2 nin de enerji yoğunluğu açısından en iyi olduğu anlaşılmıştır. Diğer bazı malzemeler

Mg_2NiH_4 , VH_2 , $FeTiH$ dir. Hidridde depolanan hidrojen araçlarda da kullanılmaktadır.

İnce gözenekli madeni köpük maddeleri, tıpkı süngerin suyu emdiği gibi, hidrojeni tutabilmekte ve herhangi bir hasar meydana geldiği zaman, hidrojenin birden açığa çıkmasını önlemektir (2).

7.9 Granüler Alüminyum

Granüler alüminyum da yakıt olarak kullanılabilir. leceğinden güneş enerjisiyle bol miktarda alüminyum ve oksitleri üretilerek yakıt depo edilebilir. Her alüminyum atomunda üç elektron yer değiştirir, böylece küçük bir kütlede pek çok enerji depolanır. Alüminyum toz kömür gibi, alevlenerek yanar. Hidrojen ve alüminyum, konutlarda olduğu gibi, endüstride de yakıt olarak kullanılır. Alüminyumun yanma ürünü alüminyum oksit olup o da ayrıca kullanışlıdır.

7.10 Suyun Geri Pompalanması

Su bilhassa barajlarda depo edilir ve güç endüstrisinde geniş surette kullanılan bir tekniktir. Genellikle, barajlarda doğal olarak akan su birikir ve elektrik üretiminde çok önemlidir. Güneş enerjisinin depolanması konusuna gelince, eğer güneşle, yeter derecede elektrik üretilirse, ayaktaki su baraja geri pompalanır ve aynı sudan tekrar yararlanma imkanı doğar. Yahut ta seviye farkı olan yakın iki barajdan alttakinden yukardakine su pompalanır. Ayrıca elektriğe gerek kalmadan, güneş enerjisiyle

alışan pompalar yapmak da mümkündür.

İçmeye elverişli olmayan yer altı suları da yukarıdaki gibi daha yükseklerle depo edilerek güç kaynağı olabileceğı gibi içme suları içinde bahis konusu metod uygulanabilir. Suyun depo edilmesi önemli derecede verimlidir. Suyu geri pompalamak için gerekli enerji % 65 - 75 verimlilikte kazanılıdır, çünkü bir termodinamik çevrim gerekli değıldir. Özellikle suyu kıt olan güneşli ülkelerde bu yöntem daha da önem kazanır. Montezuma Project (Salt River Project ve Arizona' da Arizona halk kumpanyası servisi) ve ayrıca Sierra Estrella gibi projeler üzerinde çalışılmakta, içmeye elverişli olmayan yer altı suyunun yukarılara pompalanarak, enerji kaynağı olarak kullanılmasına çalışılmaktadır. İçmeye elverişli sular üzerinde çalışılmasında yararlıdır.

Güç elde ettikten sonra, güneş enerjisiyle depolama için Hydrostorage (Su depolaması) idealdir.

Bir Kwh güç 1000kg suyu 367 m yükseltmeye eş değırdir.

8. DÜZLEM HAVA ISITICISI

8.1 Giriş

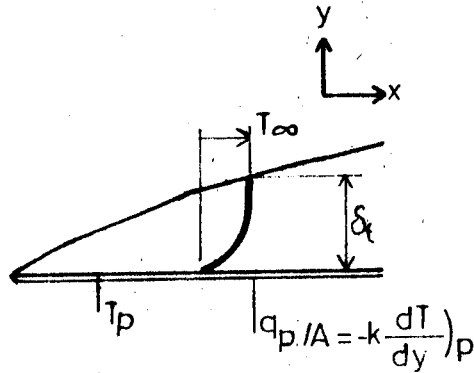
Şekil 8.1 de gösterilen bir sistem düşünelim. Plakanın yüzey sıcaklığı T_p , termal sınır tabakası dışındaki akışkanın sıcaklığı T_∞ ve termal sınır tabakasının kalınlığı δ_t dir. Plaka yüzeyinde, hız sıfırdır ve akışkana transfer edilen ısı iletimle olur. Bu yüzden birim alan başına akışkana transfer edilen ısı akısı

$$q'' = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad 8.1$$

dir. Newton'un soğutma yasasından,

$$q'' = h (T_p - T_\infty) \quad 8.2$$

dur.



Şekil 8.1 Termal sınır tabakasındaki sıcaklık profili

Daha önceki bölümlerden de hatırlanacağı gibi, güneş ışınımı siyah bir yüzey üzerine geldiğinde yutulur ve bu yüzeyin sıcaklığı artar. Yüzey sıcak-

lığı artınca 8.2 denkleminde de görüldüğü gibi üzerindeki akışkana enerjisini transfer eder ve havanın sıcaklığını arttırır.

Yüzey alanı A_s , taşınım ısı transferi katsayısı h , yüzey sıcaklığı T_p ve çevre sıcaklığı T_∞ olan bir absorplayıcı (yutucu) plakanın, üzerindeki havaya transfer ettiği ısı miktarı

$$q = h A_s (T_p - T_\infty) \quad 8.3$$

dur.

8.2 Transfer Edilen Isıyı Arttırma Yolları

Denklem 8.3 den de görüldüğü gibi, absorplayıcı plakadan, üzerinden akan havaya transfer edilen ısı-
nın arttırılması, üç parametreye bağlıdır. Bunlar, ısı taşınım katsayısı h , kollektör yüzey alanı A_s ve ısıtılmış yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki $(T_p - T_\infty)$ farktır.

h değişiminin etkisi, absorplayıcı düzlem plakanın durumu için Whillier tarafından incelenmiştir. h nin artımı, Reynolds anolojisine göre, sürtünme katsayısındaki bir artmaya karşılık gelecek demektir.

h ; Re , Pr ve Nusselt sayılarına bağlı olarak

$$\frac{Nu}{Re \ Pr} = \frac{h}{C_p \ u_\infty} \quad 8.4$$

şeklinde verilir (6). 8.4 denklemindeki $h / C_p \ u_\infty$ ifadesi Stanton sayısı olarak adlandırılır (6).

$$St = \frac{h}{C_p u_{\infty}} \quad 8.5$$

dır. Ayrıca bu ifade aşağıdaki şekilde de

$$St = \frac{Nu}{Re Pr} \quad 8.6$$

yazılabilir. Diğer taraftan C_f sürtünme katsayısı, Stanton sayısı ve Prandl sayılarına bağlı olarak

$$St Pr^{1/3} = \frac{C_f}{2} \quad 8.7$$

şeklinde de yazılabilir (6). Colburn analojisi olarak adlandırılan 8.7 denklemi, bir düzlem plakadaki laminar akış için ısı transferi ve akışkanın sürtünmesi arasındaki bağıntıyı veren ifadedir (6).

Akışkana transfer edilen ısıyı arttırmanın diğer bir yolu ($T_p - T_a$) yı arttırmaktır. Bu ise doğrudan doğruya absorplayıcı plakadan çevreye olan termal kayıpları azaltarak sağlanır. Radyasyon kayıpları da plaka olarak, seçici yüzey kullanılırsa indirgenebilir.

Akışkana transfer edilen ısıyı arttırmanın üçüncü yolu da absorplayıcı plakanın yüzey alanını arttırmaktır. Bu aynı zamanda, içinden gaz akan ısı eşanjörlerinin ısı transfer oranını arttırmak için de ortak yöntemdir.

Güneş hava ısıtıcıları koroziv karakterde olmayışı ve sadeliğinden dolayı, konut ısıtma amacı için

geniş çapta uygulama alanı bulacaktır.

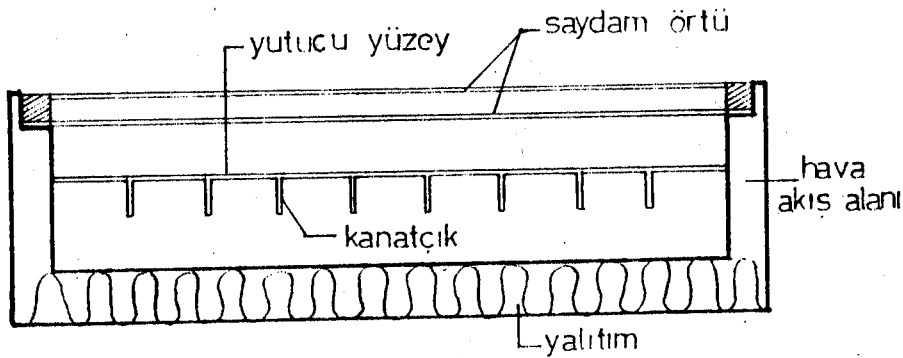
8.3 Düzlem Hava Isıtıcının Yapısı

Güneş kollektörleri ekseriya, sıvı veya hava olan bir akışkana, güneş ışınımını kullanarak enerji aktaran ısı değıştirgeçleridir. Bir düzlem hava kollektörü aşğıdaki birimlerden oluşur.

Yutucu yüzey, akış koridorları, saydam örtü, yalıtım ve bütün bu birimleri içine alan kasa.

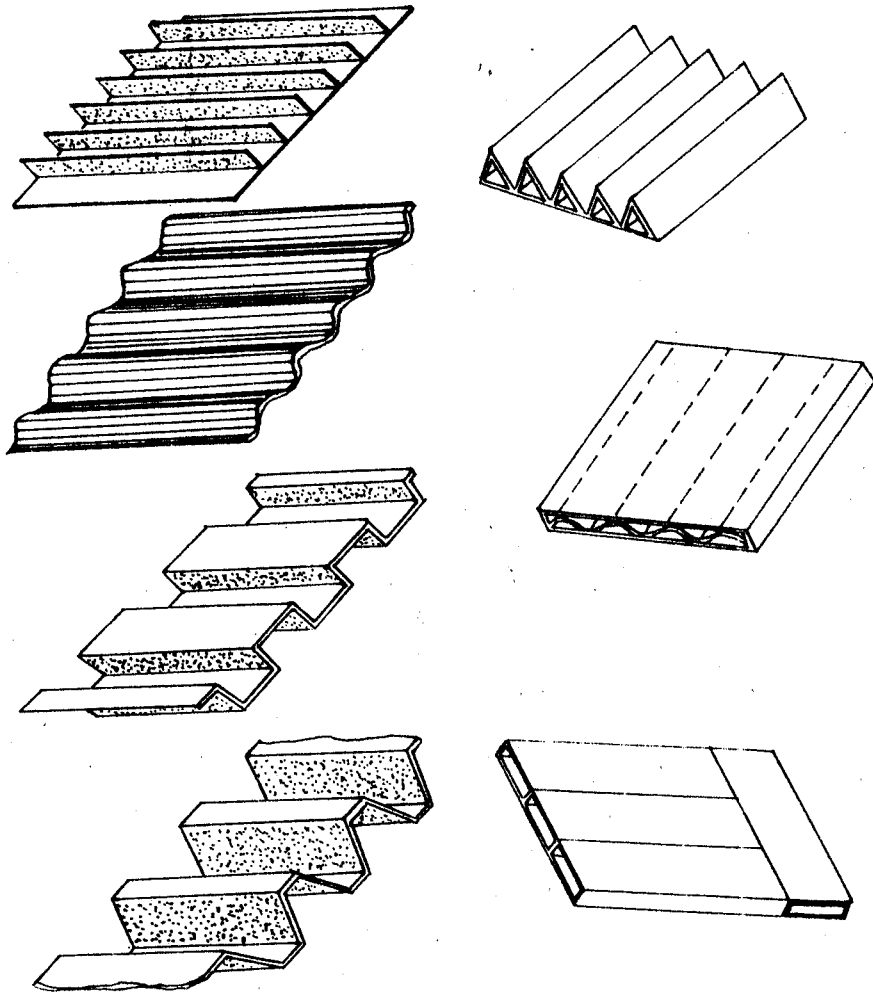
8.3.1 Yutucu yüzey ve akış koridorları

Kollektör içinden akan akışkan, akış koridorlarıyla temas halindedir. Akış koridoru, ısı kayıplarının azaltılması ve havanın düşük ısı iletkenliği özelliklerinden dolayı alt tarafında olmalıdır. Isıtılmış hava saydam örtü ile temas halinde olduğunda ısı kayıpları fazla olmaktadır. Absorplayıcı (yutucu) ve akışkan arasındaki ısı transferi, akışkanı sıvı olan bir sistemdekinden oldukça azdır. Isı transferinin arttırılması, Şekil 8.2 de görüldüğü gibi yutucu yüzeye kanatçıklar takılarak veya türbulansı arttıran metal bölmelerle sağlanır.

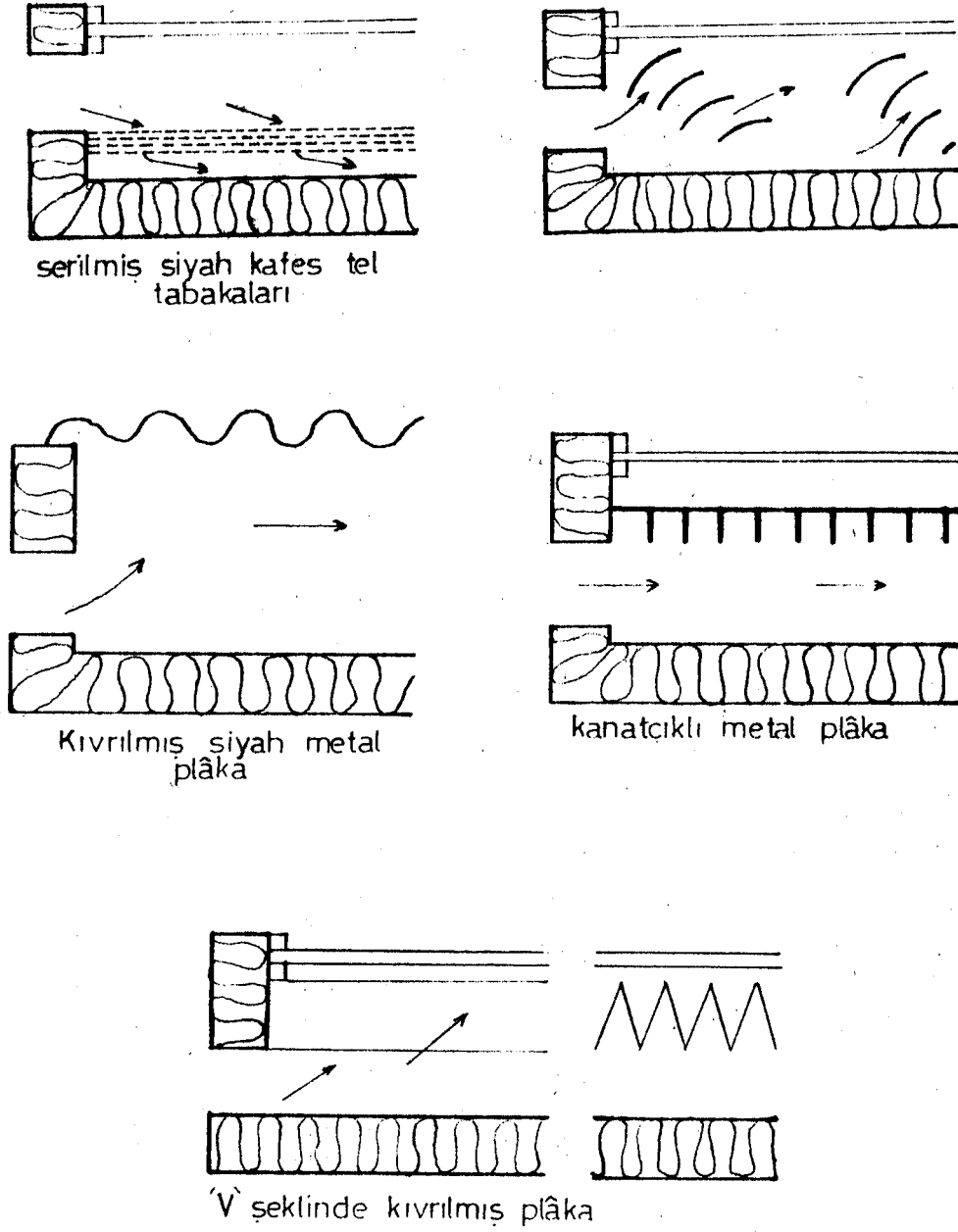


Şekil 8.2 Kanatçıklı hava kollektörü

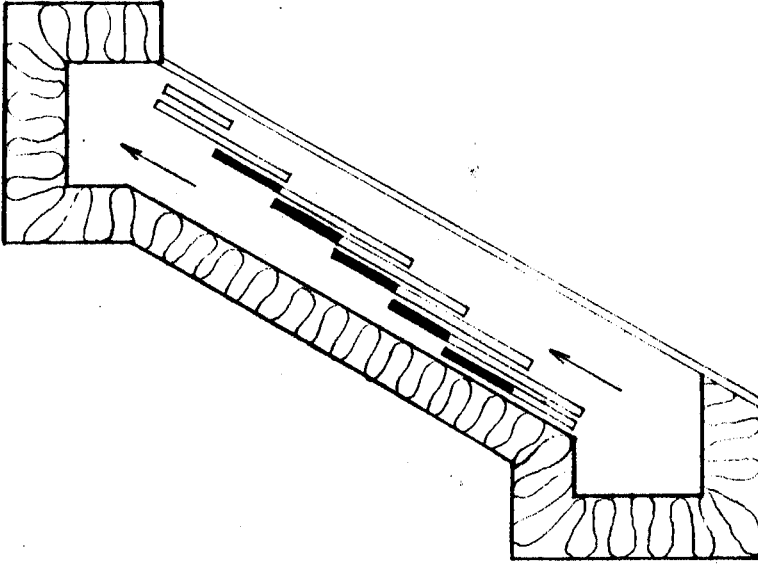
Hava sistemleri, donma ve kaynama problemleri olmayışı nedeniyle avantajlıdır. Hava sistemlerindeki sızıntıyı kapatmak ve ortaya çıkartmak zor olsada, su sistemlerindeki gibi zahmetli değildir. Şekil 8.3 de yutucu yüzeye bağlanan kantçık tipleri, Şekil 8.4 de ise değişik hava kollektörlerinin kesitleri ve akış bölgeleri gösterilmektedir.



Şekil 8.3 Hava kollektörlerinde kullanılan kanatçık tipleri



Şekil 8.4 . a



Şekil 8.4.b

Absorplayıcı plakanın yüzeyinin, verilen bir sıcaklıkta, gelen güneş ışınımının ne kadarını absorpladığı ve ne kadarını yaydığı önemlidir.

Siyaha boyanmış yüzeyin, gelen kısa dalga boylu güneş ışığı için, yaklaşık % 95 lik soğuruculuğu vardır. Fakat buna karşılık uzun dalga boylu termal ışınımı (% 87-90) ısıtma özelliğine sahiptir. Bu yüzden kısa dalga boylu ışınımı soğuruculuğu büyük, uzun dalga boylu ışınımı soğuruculuğu küçük seçici yüzeyler kullanılmalıdır. Seçici yüzeyler elektroliz yoluyla kaplama yöntemi kullanılarak elde edilir. Buda sadece metallere uygulanabilir. En popüler seçici yüzeylerden birisi siyah kromdur. Siyah kromun gelen kısa dalga boylu

güneş ışınımını soğuruculuğu % 90 ve uzun dalga boy-
lu ışınımın yayıcılığı ise sadece % 10 dur.

Seçici yüzey	α	ϵ	α/ϵ
Siyah krom	0.87 - 0.93	0.1	~9

Seçici yüzeyler kullanılarak kollektör performansı art-
tırılabilir. Fakat buda kollektörün maliyetini arttı-
rır (21).

8.3.2 Saydam örtüler

Yutucu yüzeyden konveksiyonla ve ışıma ile ısı
kayıplarını önlemek için, bir veya iki adet saydam
örtü absorplayıcının üzerine yerleştirilmelidir.

8.3.3 Yalıtım

Cam yünü gibi yalıtım malzemeleri, kollektörün
ısı kayıplarını azaltmak için, altına ve kenarlarına
yerleştirilir.

8.3.4 Kasa

Kasa bilindiği gibi, kollektör bileş nlerinin
konulduğu bir kutudur. Çoğunlukla demir sac, alümin-
yum veya fiberglastan yapılır.

8.4 Düzlem Hava Isıtıcısının Matematiksel Modeli

Şekil 8.5 de görülen tipik bir hava ısıtıcı-
sı düşünelim. Buradaki düzlem plakalı hava ısıtıcı,
çift camlıdır ve alttan bir yalıtım maddesiyle yalı-
tılmıştır.

Hava kollektörlerinde genelde akış, absorplayıcı
plakanın ya altından veya üzerinden olur. Bazı kol-

lektörlerde ise akış, absorplayıcı plakanın hem altından hem de üzerinden olur.

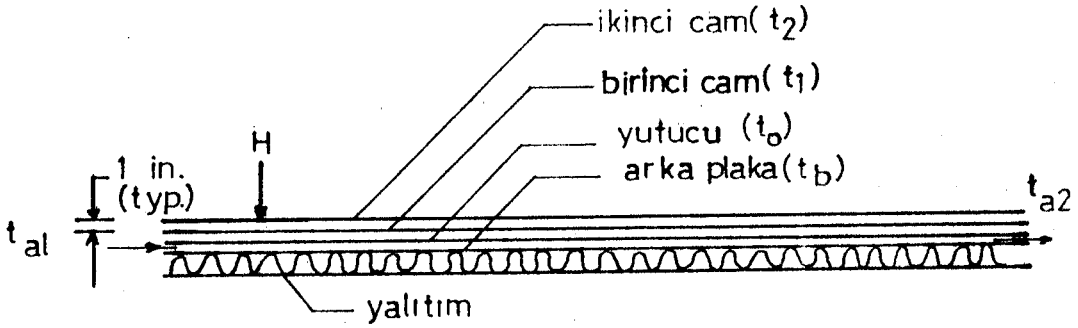
Kollektör üzerine gelen direkt ve yaygın ışınım bileşenlerinden oluşan güneş akısı I (W/m^2), iki adet saydam örtüden geçer ve yutuculuğu olan siyah yüzey tarafından yutulur.

Saydam örtüde ışınımın, yansımaları ve soğutulmasından dolayı meydana gelen kayıpları gözönünde bulundurulduğunda, saydam örtünün ışılgı geçiriciliği yaklaşık olarak

$$\tau = \tau_r \tau_a$$

8.8

şeklinde ifade edilir.



şekil 8.5

Pratikte cam örtülerin güneş ışınımını olduğu gibi geçirdiği düşünülür. Örneğin, Güneş kollektörü üzerine gelen güneş ışınımının camdaki absorpsiyonu enerji dengesinde ihmal edilir. Ayrıca cam örtülerin, uzun dalga boylu olarak karakterize edilen termal ışıma karşı saydam olmadığı (opak), kabul edi-

lır. İlave olarak mükemmel geçirici kabul edilen cam örtülerin, sıcaklığı düşüktür. Bu yüzden, absorplayıcı ile absorplayıcıya yakın olan cam örtü arasındaki hesaplanmış sıcaklık farkı, gerçek sıcaklık farkından daha büyük olacaktır. Bu da yapay olarak kollektörün üzerinden olan ısı kayıplarını arttırır.

Şekil 8.5 deki sistemi inceleyelim.

Hava, kollektörün girişinde sabit bir (t_{al}) giriş sıcaklığında ve sabit bir kütle akış oranıyla ($\dot{m}$) akmaktadır. Hava, kanal sıcaklığına ulaşarak kollektörden dışarı çıkar. Çıkış sıcaklığı, h , $\dot{m}$, I ve çevreye olan ısı kayıplarının bir fonksiyonudur. Şimdi bu parametreleri sırasıyla inceleyelim.

Çevreye olan ısı kayıpları ve güneş akısı I , kollektör bileşenlerinin sıcaklıkları belirlenerek hesaplanabilir. En önemli problem, taşınım ısı aktarım katsayısı h nın bulunmasıdır.

8.4.1 Isı taşınım katsayısı h nın bulunması

Nusselt sayısı taşınım ısı aktarım katsayısına bağlı olarak aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir.

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} \quad 8.9$$

Denklem 8.9 dan da görüldüğü gibi taşınım ısı aktarımı sağlandığı durumlarda, eğer Nusselt sayısını biliyorsak buradan, taşınım ısı aktarım katsayısını bulabiliriz.

$$Nu = 0.0158 Re^{0.8} \quad 8.10$$

Duffie ve Beckman tarafından üretilen aşağıdaki bağıntı ısıtılmış paralel plakalar arasından akan türbulanslı hava akışı için kullanılır. Burada akışkan özellikleri ortalama hava sıcaklığında hesaplanır.

Ortalama rüzgar hızı sabit kabul edilir. Dolayısıyla, rüzgardan dolayı ısı transfer katsayısı h_w , verilen bir t_2 sıcaklığı için sabit olacaktır.

Bir düzlem plaka üzerindeki türbulanslı akıştan dolayı ısı transferini hesaplamak için aşağıdaki bağıntı Kreith tarafından üretilmiştir (17).

$$Nu = 0.036 Pr^{0.333} (Re_L - 23200) \quad 8.11$$

Bu denklemdaki karakteristik boyut kollektör uzunluğudur.

Durgun hava bölgesindeki doğal konveksiyon, plaka aralığının, yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının ve kollektör eğiminin bir fonksiyonudur. Herhangi bir açıda eğim verilmiş paralel plakalar arasındaki doğal konveksiyon probleminin, analitik olarak çözümü oldukça karmaşıktır.

Dropkin ve Somerscales, yatayla herhangi bir açıda eğimlenmiş paralel plakalar arasındaki doğal konveksiyon için deneysel sonuçlara dayalı aşağıdaki denklemi türetmişlerdir (17).

$$Nu = c Ra^{1/3} Pr^{0.074} \quad 8.12$$

veya $Pr = 0.72$ $c = 0.059$ ve 45° lik kollektör eğimi durumunda

$$Nu = 0.0576 Ra^{1/3} \quad 5 \cdot 10^4 < Ra < 7.17 \cdot 10^8 \quad 8.13$$

dir. 8.13 denkleminin Raighley sayısının sayısının sınırları içinde geçerlidir. Gebhart yatay paralel plakalar arasındaki doğal konveksiyon için aşağıdaki bağıntıları önermektedir.

$$Nu = 1.0 = hb/k \quad Gr < 1700 \quad 8.14$$

(kusursuz iletim durumunda)

$$Nu = 0.195 Gr^{1/4} \quad 10^4 < Gr < 4 \cdot 10^5 \quad 8.15$$

(laminer akış için doğal konveksiyon durumunda)

$$Nu = 0.068 Gr^{1/3} \quad Gr > 4 \cdot 10^5 \quad 8.16$$

(türbulanslı akış için doğal konveksiyon durumunda)

8.4.2 Kanatçıklı hava kollektörü birimlerinin enerji dengesi denklemleri

Şekil 8.6 da gösterilen kanatçıklı hava kollektörü tipi için, kollektörün herbiriminin süreklilik durumu enerji dengesi denklemleri aşağıda verilmiştir.

Çift camlı saydam örtünün enerji dengesi,

$$h_{12}(t_1 - t_2) + F_{12} \sigma(T_1^4 - T_2^4) - h_w(t_2 - t_s) - F_{2s} \sigma(T_2^4 - T_s^4) = 0 \quad 8.17$$

Yutucu yüzey için enerji dengesi

$$H(\tau\alpha) - (A_o/A) h_{n_o}(t_o - t_a) - (A_o/A) F_{ol} \sigma(T_o^4 - T_1^4) = 0 \quad 8.18$$

Hava akışı için enerji dengesi

$$q/A = w c_p (t_{a2} - t_{a1}) \quad 8.19$$

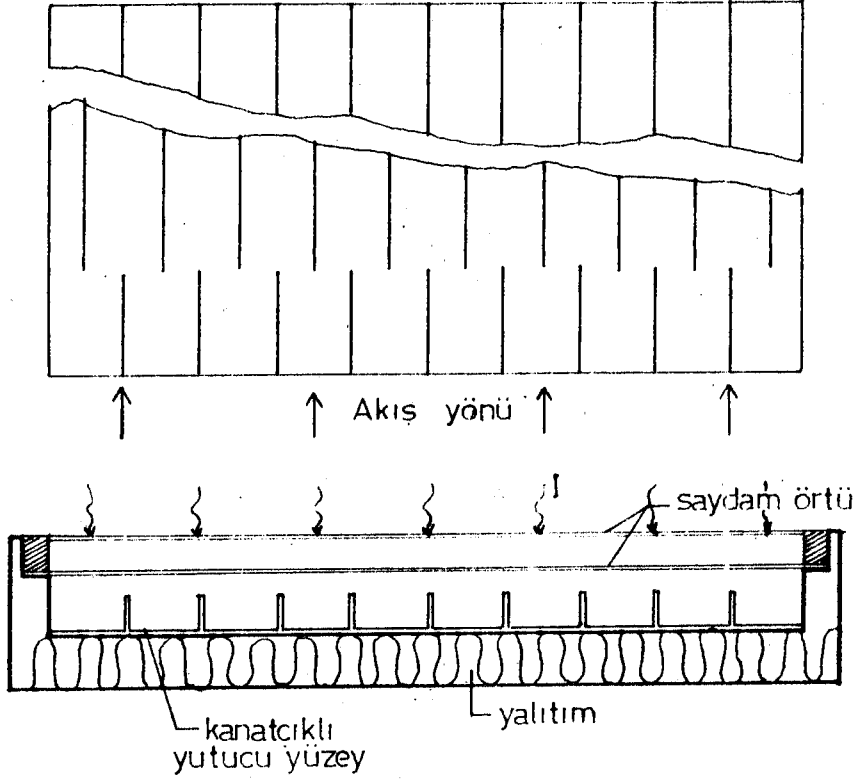
dir. Bu denklemde $w = \dot{m}/A$ ve A , kollektör alanıdır.

Ayrıca 8.19 denklemi

$$q/A = \eta_o (A_o/A) h((t_o - t_a) - h(t_a - t_l))$$

8.20

şeklinde de yazılabilir.



Şekil 8.6

Karıştırılmış ortalama hava sıcaklığı,

$$t_a = (1/2) (t_{a1} + t_{a2})$$

8.21

dır ve havanın özellikleri bu sıcaklıkta alınacaktır. Bu denklemler düzenlenerek havanın kolektör çıkış sıcaklığı için aşağıdaki ifade

$$t_{a2} = \frac{t_{a1} [2\dot{m}c_p - h(\eta_o A_o + A)] + 2h(\eta_o A_o t_o + A t_l)}{2\dot{m}c_p + h(A_o \eta_o + A)}$$

8.22

şeklindedir.

Kanatçıklı kollektör tipi için yazılan denklemler, kanatçıksız olanlarınkine benzer. Fakat aralarında bazı farklılıklar vardır. Kanatçıklı kollektör tipinde, (a) Cam örtülerin ve absorplayıcının alanları eşit değildir. (b) Konveksiyon ısı aktarım katsayısı 8.10 denklemi kullanılarak bulunamaz. (c) Gri - cisim şekil faktörü, yeniden belirlenmelidir (F_{01}). (d) Kanatçık verimliliği hesaba katılmalıdır.

Dikdörtgen şeklindeki bir kanatçık için sıcaklık profili, aşağıda belirtilen ifadeden

$$\frac{t - t_a}{t_w - t_a} = \frac{e^{mx}}{1 + e^{2ma}} + \frac{e^{-mx}}{1 + e^{-2ma}} \quad 8.23$$

bulunabilir. Burada k , ısı iletkenlik katsayısı, δ , kanatçık kalınlığı olmak üzere

$$m = (2h/k\delta)^{1/2} \quad 8.24$$

şeklindedir. Dikdörtgen şeklindeki bir kanatçık için kanatçık verimi, a , kanatçık yüksekliği olmak üzere

$$\eta_f = \frac{\tanh(ma)}{ma} \quad 8.25$$

dır. A_f , kanatçık alanı, A_0 yutucu yüzeyin alanı olmak üzere, bütün yüzey verimliliği,

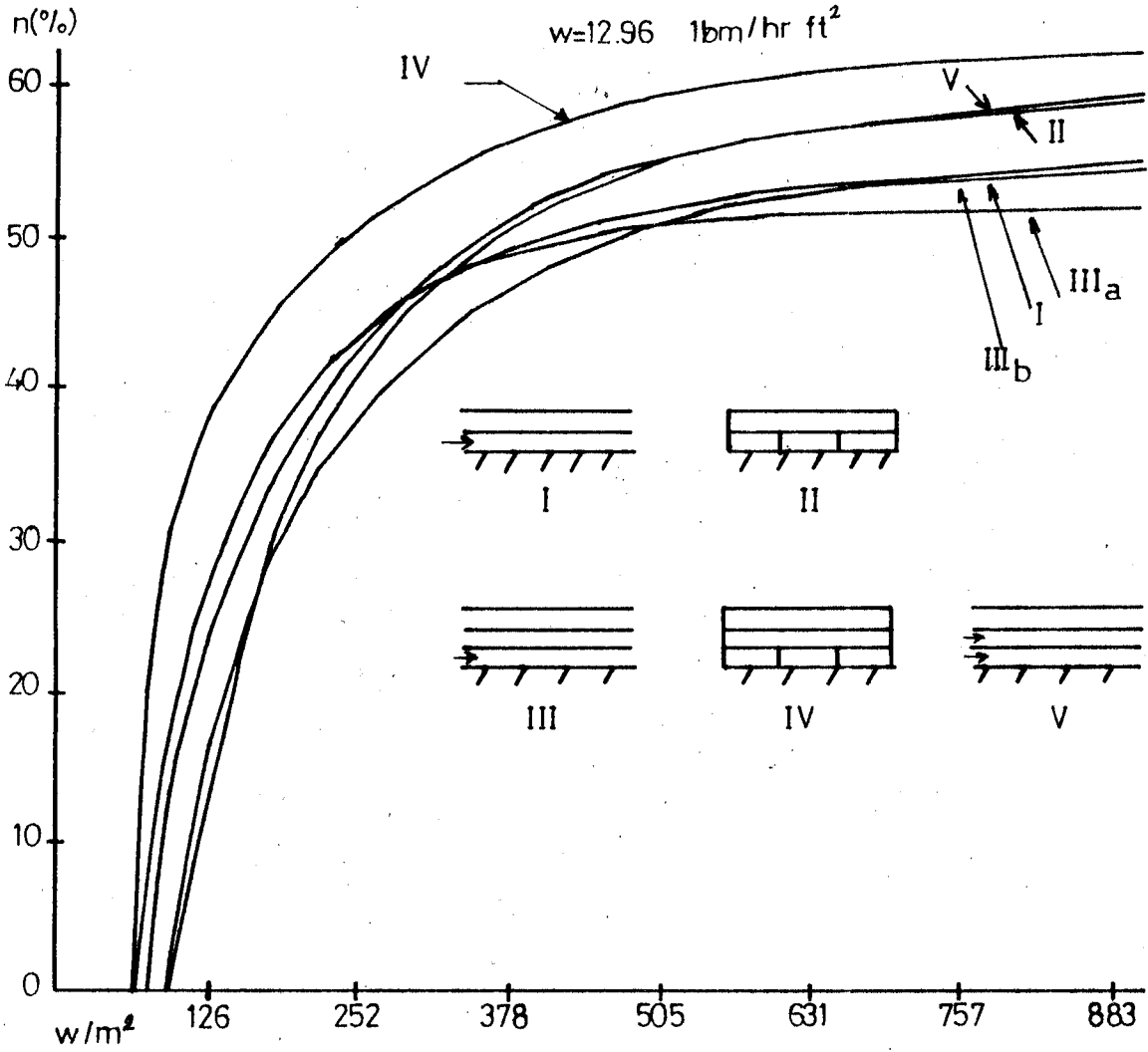
$$\eta_0 = 1 - (A_f/A_0) (1 - \eta_f) \quad 8.26$$

dir. Gri - cisim şekil faktörü ise,

$$F_{ol} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_o} + \frac{1}{\epsilon_{l f_{ol}}} - 1}$$

8.27

şeklinde yazılabilir. Şekil 8.7 de bazı hava kollektör tipleri için, kollektörlerin verimine karşı, güneş ışıını şiddeti grafiği gösterilmiştir.



şekil 8.7

9. ZEOLİT HAKKINDA GENEL BİLGİLER

9.1 Gözenekli Katılar

Gözenekli katıların doğa ve endüstrideki işlevi çok büyüktür. Canlı organizmaların tümü gözeneklidir. Gözeneksiz bir yapıda yaşam işlevlerinin sürdürülmesi olası değildir. Bitki ve hayvanların yaşamında çok önemli olan doğal sıvıların dolaşımı ve solunum ancak ve ancak kılcal yapı ile olanaklıdır. Gözenekli katılar doğada ısı yalıtımına yol açarlar. Örneğin, gözenekli yapıdaki hayvan kürkleri ve tüyleri hayvanları dış ortam ile ısı alışverişine karşı yalıtırlar.

Cansızlar için de gözenekli katılar yaygın ve büyük öneme sahiptir. Başta toprak olmak üzere doğal kayaların çoğu değişen ölçülerde gözeneklidirler. Kömürler, zeolitler, killeri ve çoğu metal filizi doğal olarak gözenekli yapıdadırlar. Taban suyu, petrol ve doğal gaz gibi önemli maddeler jeolojik oluşumlarından bu yana gözenekli katılar içinde bulunurlar. Toprağın hava ve suyu tutması yanında toprakla bitki arasındaki madde aktarımında gözenekli yapının önemi büyüktür.

Endüstriyel ham maddeler yanında endüstriyel ürünlerin de birçoğu gözenekli katıdır. Gözenekli yapılarından dolayı kullanılma alanları yaygınlaşan maddelerin başında; çimento, seramik ürünleri, tuğla ve tahta gibi yapı malzemeleri gelmektedir. Gıysilerimiz ve kağıt gözenekli maddeler içeren katılardır.

Diğer taraftan: silikajel, aktif kömür, kil ve zeolit gibi gözenekli katılar endüstride adsorplayıcı ve süzgeç olarak kullanılmaktadır. Yine gözenekli katılar olan katalizör ve katalizör yatakları endüstriyel süreçlerin en az % 70' inde yer almaktadır. Elektroliz hücreleri, piller ve nükleer reaktörlerde çeşitli amaçlar için gözenekli katılar kullanılmaktadır. Çoğu ticari ürünlerin kurutulma işlemi gözenekli katı olmalarından yararlanılarak yürütülür. Metallurji süreçleri içinde filizlerin gözenekli yapıda olmaları önemli bir yer tutar.

Gözenekli katıların tipleri ve kaynakları kadar içerdikleri gözeneklerin boyutu da önemlidir. Doğadaki katıların içerdği gözeneklerin boyutları, bir mağara büyüklüğü ile yalnızca bir molekülün girebileceği büyüklükler arasında bir dağılım göstermektedir. Gözenekler, silindirik, küresel, konik ve ince tabaka şeklinde olabilirler. Bazı gözeneklerin mürekkep şişesi olması yanında, bazıları ise tanımlanması olanaksız olan karmaşık şekillere sahiptir. Örneğin; beton içinde, silindirik ve küresel olan gözenekler, mika ve diğer çeşitli killerde ince tabakalar halindedir. Doğal oluşum koşulları yanında uygulanan kimyasal ve fiziksel işlemlere bağlı olarak gözeneklerin şekil, boyut ve hacimleri değişmektedir. Örneğin; taneli ve lifli yapıdaki gözenekli maddelerin peletlenmesi sırasında, peletlemenin basınç ve sıcaklığına bağlı olarak, farklı

şekil ve boyutlarda yeni gözenekler oluşmaktadır. Kısa-
ca, gözenek şekil ve boyutları katının oluşum koşu-
llarına bağlı olarak değişmektedir.

Gözeneklerin şekil ve boyutları yanında birbirle-
riyle olan bağlantıları da çok önemlidir. Bazı gözenek-
ler birbirine bağlı olarak katının bir yüzeyinden di-
ğer yüzeyine dek uzanırken, bazıları katı içinde ka-
palı bir hacim, bazıları ise bir ucu açık diğer ucu
kapalı çeşitli şekillerdeki oyuklardır. Birinci türde-
kilere içten bağlı, ikinci türdekilere tam kapalı,
üçüncü türdekilere ise yarı kapalı gözenekler denile-
bilir.

Katıların fiziksel özellikleri; gözeneklerin sayı-
sına, boyutuna ve şekline önemli ölçüde bağlı olması
yanında gözenekler arasındaki bağlantıların derecesine
göre de değişmektedir. Katıların; sertliği, mekanik sağ-
lamlığı, özgül yüzey alanı ve görünen yoğunluğu göze-
neklige bağlı en önemli özelliklerdir.

Gözeneklilik katıların özelliklerini etkilediği
gibi, bu gözenekler içinde yürüyen fiziksel ve kimya-
sal olayları da etkiler. Özellikle, katı içinde yürü-
yen fiziksel olaylar izlenerek katının içerdği göze-
neklerin boyut dağılımı ve özgül yüzey alanı belirle-
nebilir. Gaz, buhar, saf sıvı, sıvı - sıvı, ve sıvı - ka-
tı karışımlarının katı yüzeyinde tutunması yanında; ka-
tı içinden geçiş hızları da ölçülerek; gözeneklilik,
gözenek boyut dağılımı ve özgül yüzey alanı belirle-

nebilir. Özgöl yüzey alanları 1 ile 1200 m² . gr⁻¹ arasında değışen dağılıma sahip katılar vardır, ve herbirinin teknolojik önemi büyüktür.

Büyük çoğunluğu kristal yapısında olan gözenekli katıların kristal yapısı daha önceki kesimde incelediğimiz X - Işınları kırınımı toz yöntemi ile belirlenir. Özellikle metal oksitleri, zeolit ve killler için bu yöntem çok uygulanır.

9.1.1 Gözenekli Katıların Sınıflandırılması

Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimyacılar Birliği (IUPAC) katı içindeki gözenekleri çaplarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır.

9.1.1.1 Mikrogözenekler: çapı 2 nm. (nanometre) den daha küçük olanlar (çok küçük).

9.1.1.2 Mezogözenekler: çapı 2 nm - 50 nm arasında olanlar (orta).

9.1.1.3 Makrogözenekler: çapı 50 nm den büyük olanlar (çok büyük).

Uluslararası bu sınıflandırma yanında çoğu kitap ve yayınlarda farklı kişisel sınıflandırmalar da yapılmaktadır.

9.2 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon olgusu ilk kez 1773 yılında Scheele ve 1777 yılında Abbe Fontana tarafından ortaya konulmuştur. Lowitz, 1785 yılında aktif kömürün bazı çözeltilerin rengini giderdiğini gözlemiştir. Bu konudaki

ilk sistematik araştırmayı 1814 yılında Saussure yapmıştır. Adsorpsiyon olgusu üzerine yapılan çalışmalar ve bu olgunun teknolojik süreçlere aktarılması, içinde bulunduğumuz yüzyılda hızla gelişmiştir. Adsorpsiyon olgusu üzerindeki çalışmalar çok yönlü olarak günümüzde de büyük bir hızla sürdürülmektedir.

Sabit basınç altında tutulan bir gaz veya buhar ısıtılarak yüzeyi temizlenmiş bir katı ile temasa getirilirse, gaz veya buharın hacminin küçüldüğü görülür. Eğer aynı işlem sabit hacim altında yapılırsa gaz veya buharın basıncının düştüğü gözlenir. Oyleyse gaz veya buharın bir kısmı katı tarafından tutulmaktadır. Bu tutulma iki türlü olasıdır. Birincisi gaz veya buhar moleküllerinin katı içinde homojen olarak çözünmesi, ikincisi ise katı yüzeyinde tutunmasıdır. Birinci olguya bsorpsiyon, ikinciye ise adsorpsiyon adı verilir. Her iki olgu da birlikte varsa sorpsiyon deyiimi kullanılır.

Gaz veya buharı alan katıya adsorplayıcı, katının yüzeyinde tutunan gaz veya buhara ise adsorplanan denir. Adsorplayıcı ve adsorplanan ibaret heterojen bir karışıma ise adsorpsiyon sistemi adı verilir.

9.2.1 Adsorpsiyonun Oluşmasını Sağlayan Kuvvetler

Gaz veya buhar ile katı arasında Van der Waals kuvvetlerinden kaynaklanan bir etkileşme varsa yoğunlaşmaya benzer bir olay, eğer daha kuvvetli bir et-

kileşme varsa kimyasal tepkimeye benzer bir olay olur. Birinciye fiziksel adsorpsiyon (Van der Waals adsorpsiyonu) adı verilir. İkinciye ise, kimyasal adsorpsiyon (kemisorpsiyon) adı verilir. Fiziksel adsorpsiyon büyük ölçüde tersinir olduğu halde, kimyasal adsorpsiyon tersinmezdir.

Adsorpsiyon sırasında birbirine değen adsorplanan ve adsorplayıcı molekülleri bir arayüz oluştururlar. bu arayüzde katının elektrostatik kuvvetleri, kovalent bağ kuvvetleri ve Van der Waals kuvvetleri ile adsorplanan moleküller arasında etkileşmeler olur. Çoğu katılarda bu tür kuvvetlerden biri diğerlerine göre daha etkindir. Kaynağı ne olursa olsun bu doymamış kuvvetler sıvılarda olduğu gibi katılarda da yüzey gerilimine yol açarlar. Katının ortasındaki atom veya molekül her yönden eşit ölçüde çekildiği halde yüzeydekiler için bu kuvvet dengesi yoktur. Adsorplanan atom, iyon veya moleküller adsorplayıcı katı yüzeyinde dengesiz olan kuvvetlerin bir kısmını doyurarak yüzey gerilimini düşürürler. Yüzey geriliminin düşmesi yüzey serbest entalpisinin düşmesi olduğundan ve serbest entalpi azalmasının olduğu olaylar termodinamik olarak kendiliğinden yürüme eğiliminde olduğundan, adsorpsiyon da kendiliğinden olur. Öyleyse adsorpsiyon sırasında serbest entalpi değişimi eksidir. Üç boyutlu hareket eden gaz veya buhar moleküllerinin sıvıya benzer şekil de daha düzenli hale gelmesi ve dolayısıyla

la entropilerinin düşmesi demektir. G serbest entalpisi yanında S entropi değişiminin de eksi olması

$$\Delta H = \Delta G + T \Delta S \quad (9.1)$$

bağıntısından H entalpisinin daima eksi olmasını gerektirir. H adsorpsiyon entalpisinin eksi olması adsorpsiyon olgusunun daima ısı salan (ekzotermik) olduğunu gösterir.

9.2.2 Fiziksel Adsorpsiyon İle Kimyasal Adsorpsiyonun Karşılaştırılması

Fiziksel adsorpsiyonda yoğunlaşma entalpisine yakın olan adsorpsiyon ısısı, kimyasal adsorpsiyonda tepkime entalpisine yakındır. Kimyasal adsorpsiyon yalnızca bir tabakalı olabildiği halde, fiziksel adsorpsiyon genellikle sıcaklık yükselmesiyle azaldığı halde kimyasal adsorpsiyon sıcaklık yükselmesiyle artar.

Adsorplayıcı ile temasa gelen gaz veya buhar molekülleri ya da başka adsorplanan tanecikler öncelikle katının en aktif merkezlerinde tutunurlar. Bu aktif merkezler doyurulduktan sonra katı yüzeyi önce adsorplanan tanecikleri ile bir tabaka halinde kaplanır. Eğer adsorpsiyon kimyasal ise bu tabaka tamamlandığında adsorpsiyon da sonlanır. Eğer adsorpsiyon fiziksel ise ve birinci tabakanın üzerinde yeni tabakalar oluşturacak kadar adsorplayıcı - adsorplanan etkileşmesi varsa çok tabakalı adsorpsiyon olur.

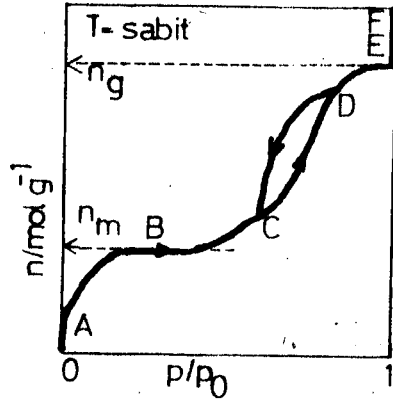
9.2.3 Gözeneklerin Boyutlarına Göre Adsorpsiyon

Tabakaları

Fiziksel adsorpsiyonun kaç tabakalı olacağı adsorplayıcı katının gözenek yapısı ile yakından ilgilidir. Çoğu kez yarıçapı 1.5 nm' den küçük olan mikrogözeneklerle yarıçapı 50 nm' den büyük makrogözeneklerdeki adsorpsiyon bir tabakalıdır. Çünkü, mikro gözeneklerin duvarları adsorplanan moleküllerin bir tabakası ile kaplandığında gözenek zaten dolmuş olmakta ve böylece de tek bir tabaka ile adsorpsiyon sona ermektedir. Bu yüzden, mikro gözenekli katılardaki adsorpsiyon yerine gözeneklerin dolması deyimi de kullanılır. Bir tabakalı adsorpsiyon ve gözeneklerin dolması varsayımları aktif kömür ve yapay zeolitler gibi çok küçük mikro gözeneklere sahip katılar için iyi uyumaktadır. Makro gözeneklerdeki etkileşme gücü bir tabakadan fazlasını tutamayacak kadar az olduğundan tek tabaka ile sonlanır.

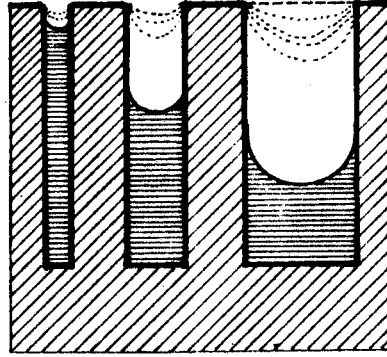
9.2.4 Mezogözenekli Katılarda Adsorpsiyon İzotermi

Yarıçapı 1,5 nm ile 50 nm arasında olan orta büyüklükteki gözeneklere mezo gözenekler adı verilir. Çoğu mezo gözenekli katılarda çok tabakalı adsorpsiyon olur. Çok tabakalı adsorpsiyon tamamlandıktan sonra bile gözenekler dolmayabilir. Şekil 9.1 deki adsorpsiyon izotermi eğrisinde görüldüğü gibi A ile B arasında bir tabakalı adsorpsiyon B ile C arasında ise çok tabakalı adsorpsiyon olur.



Şekil 9.1: Mezo gözenekli katılarda buhar adsorpsiyonu için tipik bir adsorpsiyon izotermi eğrisi

Çok tabakalı adsorpsiyon sona erdikten sonra adsorplanan buhar basıncı daha da arttırılırsa C noktası ile D noktası arasında kılcal yoğunlaşma olur. Tersine D ile C arasında da kılcal buharlaşma olur. Kılcal yoğunlaşma sırasında buharın denge basıncı fazla değişmez. Bu bölgedeki denge basıncının beklenenden fazla değişmesi Şekil 9.2 de görülen mezo gözeneklerin farklı boyutlara dağılmış olduğunu gösterir. Yarıçapı daha küçük mezogözenekler düşük denge basınçlarında, yarıçapı daha büyük olan mezogözenekler ise daha büyük denge basınçlarında dolduğundan adsorpsiyon eğrisinin CD parçası S Şekline benzer. D ile E arasında



Şekil 9.2 Mezo gözenekli bir katı içinde farklı yarı çaptaki gözenekler ve yüzey

Şekil 9.2 de görülen yüzey eğrilikleri ortadan kalkana dek kılcal içinde yoğunlaşma olur. E ile F arasında ise kılcallar dışında yığın halinde yoğunlaşma olur. Deney sabit sıcaklıkta yapılarak elde edilen Şekil 9.1 deki ABCDEF eğrisine adsorpsiyon izotermi bunun tersi olan FEDCBA eğrisine ise desorpsiyon izotermi adı verilir. Yatay ekseninde p/p_0 bağıl denge basıncı, düşey ekseninde ise bir gram adsorplayıcı başına adsorplanan maddenin mol sayısı yer almaktadır. Buharın normal yoğunlaşma basıncı p_0 olduğundan, p denge basıncının p_0 basıncına oranı bağıl denge basıncı olarak alınır. Bağıl denge basıncı 0 ile 1 arasında değişir.

Mezogözenekli katının gözeneklerini Şekil 9.2 de silindir şeklinde gösterilmesi sadece bir varsayımdır. Gerçekteki gözenekler, silindirik olmaları yanında küresel, küre - silindir bağlantılı, mürekkep şişesi gibi, düzlemsel boşluklar ve belli bir biçimi olmayan oyuklar şeklinde de olabilir. Gözeneklerin silindirik varsayılması adsorplayıcının adsorplama özelliklerinin belirlenmesinde kolaylık sağlamaktır (3).

9.2.5 Bir Katının Adsorplama Özellikleri

Özgül yüzey alanı, özgül gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımı bir katının adsorplama özellikleridir. Bir gram katının içerdği yüzey alanına özgül yüzey alanı, bir gram katının içerdği gözenek hacmine ise özgül gözenek hacmi adı verilir. Adsorplayıcı katıların çoğunda gözeneklerin büyüklükleri birbirine eşit olmayıp bir büyüklük dağılımı gösterirler. Bu gözeneklerin yarıçaplarının dağılımına gözenek boyut dağılımı denir. Bu adsorplama özellikleri Şekil 9.1 deki izoterm eğrisinden yararlanılarak belli bir yaklaşımla belirlenebilir.

9.2.5.1 Özgül yüzey alanının belirlenmesi

Adsorplayıcı katının 1 gr ının içerdği yüzeyi tümüyle bir tabaka halinde yani monomoleküler olarak örten gaz veya buharın n_m mol sayısı bulunmalıdır. Bu değer basit olarak, Şekil 9.1 deki izoterm eğrisine B noktasından çizilen teğetin düşey eksenini kestiği noktadan okunarak bulunur. Bir de adsorplanan

moleküllerin S alanlarının bilinmesi gerekir. Bir gram adsorplayıcı katının A özgül yüzey alanı,

$$A = n_m \cdot L \cdot S \quad (9.2)$$

denkleminde hesaplanır.

L: Avagadro sayısı (mol^{-1})

n_m : Adsorplayıcı katının bir gramındaki mol sayısı (mol/gr)

S: Adsorplanan moleküllerin kapladıkları alan (m^2)

Gözenekli katıların özgül yüzey alanları 1-1500 m^2/gr arasında değişmektedir. Katı makro gözenekliden mikro gözenekliye doğru değiştikçe özgül yüzey alanı hızla artmaktadır.

9.2.5.2 Özgül gözenek hacminin belirlenmesi

Yarı çapı 50 nm ye kadar olan gözenekler için gözeneklerin tümüyle dolduğu E noktasına karşılık gelen adsorplanmış maddenin sıvı haldeki hacmine eşit olarak alınır. Özgül gözenek hacmi

$$V_g = n_g \cdot V_s \quad (9.3)$$

bağıntısından hesaplanır.

V_s : Adsorplayıcının sıvı haldeki mol hacmi (cm^3/mol)

n_g : Gözenekleri dolduran adsorplanan maddenin mol sayısı (mol/gr)

Makro gözenekli katıların özgül gözenek hacimleri sıvı ile doyurma yöntemi veya helyum - cıva yöntemi ile bulunur.

9.2.5.3 Gözenek boyut dağılımının belirlenmesi

p/p_0 bağıl denge basıncını silindirik varsayılan

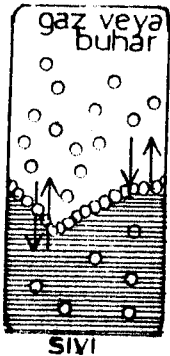
gözeneklerin yarıçapına bağlayan düzeltilmiş Kelvin denklemi Şekil 9.1 de DC arasındaki desorpsiyon koluna uygulanarak gözenek boyut dağılımı belirlenir. Bu yöntem mezogözenekler için geçerlidir. Makro gözenekler için cıva parozimetresi kullanılır. Mikro gözenekler için ise yine fiziksel adsorpsiyona dayalı başka bir yöntem geliştirilmiştir.

9.2.6 Adsorpsiyon Türleri

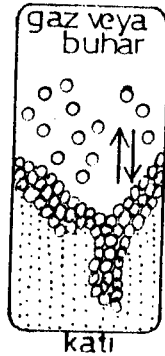
Doğada, endüstriyel uygulamalarda ve günlük yaşamımızda aşağıdaki adsorpsiyon türlerine de rastlanır.

9.2.6.1 Gaz veya Buharın Bir Sıvı Yüzeyinde Adsorpsiyonu ve sıvı içinde adsorpsiyonu

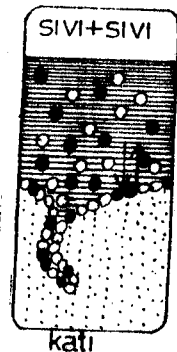
Bir gaz veya buhar bir sıvı ile temasa getirilirse çok az da olsa o sıvının yüzeyinde tutunur. Buna gaz veya buharların sıvı yüzeyinde adsorpsiyonu denir. Diğer taraftan Henry yasasına göre bir miktar gaz sıvı içinde kısmi basıncıyla orantılı olarak çözünür. Buna da bir gaz veya buharın bir sıvı içinde adsorpsiyonu denir. Bu olay Şekil 9.3 de gösterilmiştir.



Şekil 9.3



Şekil 9.4



Şekil 9.5

9.2.6.2 Gaz veya Buharın Bir Katı Yüzeyinde Çok Tabakalı Adsorpsiyonu

Bu adsorpsiyon türünü bir önceki bölümde daha ayrıntılı olarak incelendi. Bu olay Şekil 9.4 de gösterilmiştir.

9.2.6.3 İkili Sıvı - Sıvı Karışımından Adsorpsiyon

Sıvı - sıvı karışımının ideal ve gerçek oluşuna göre inceleme yapılır. Her iki bileşin de katı yüzeyinde adsorplanır. Sıvı fazın bileşimi değiştikçe tek tabakalı olarak adsorplanan fazın bileşimi de değişir. Sıvı faz ile adsorplanmış faz arasında fazdaki moleküller birbirleriyle yer değiştirerek iki boyutlu dinamik bir dengeye girerler. Katı üzerindeki mikro gözenekler de bir tabakalı olarak her iki sıvının molekülleri ile kaplanırlar. Şekil 9.5

9.2.6.4 Bir Katının Bir Sıvıdaki Çözeltilisinden Adsorpsiyon

Örneğin şeker veya üre gibi suda çözünmüş bir katının molekülleri bir başka katı yüzeyinde adsorplanırlar. Aynı şekilde çözeltilerinden bazı iyonlarda bu şekilde bir adsorpsiyonla uzaklaştırılırlar. Çözeltiyle adsorplanmış faz daima dinamik denge halindedir. Katı yüzeyinde çözücü molekülleri de adsorbe olabilir. Şekil 9.6 de bu olay gösterilmiştir.



Şekil 9.6



Şekil 9.7

9.2.6.5 Bir Çözelti Yüzeyinde Negatif Adsorpsiyon

Çözelti içindeki derişim, arayüzdeki derişimden daha büyükse çözelti yüzeyinde negatif adsorpsiyon vardır. Negatif adsorpsiyonda da arayüzdeki faz ile çözelti arasında sürekli bir dinamik denge vardır. Eğer, arayüzdeki derişim çözeltininkine göre daha büyük olsaydı pozitif adsorpsiyon olurdu. Bu olay Şekil 9.7 de gösterilmiştir.

9.3 Zeolitler

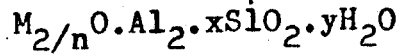
9.3.1 Zeolit

Zeolit mineralleri ilk kez İsveçli minerolojist B. Cronstedt tarafından 1756 yılında bulunmuştur. Cronstedt, çeşitli mineral kristallerini ısıttığında bunların toz haline geldiğini ve bu tozlarında kaynayan sıvı molekülleri gibi hareket ettiğini gördü. Buradan Yunanca kaynamak anlamına gelen ZEO ile taş anlamına gelen LİTHOS sözcüklerini birleştirerek kaynayan taş

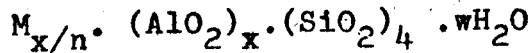
anlamındaki ZEOLİT ismini koydu. Daha sonra, zeolit minerallerinin çeşitli tuzların sulu çözeltilerinden metal katyonlarını değiştirdiği gözlemlendi ve doğal ve yapay katyon değiştiricilere de genel olarak zeolit adı takıldı. Ayrıca zeolit yapılar, su ve büyük iyonların girip çıkabileceği yapısal gözeneklere sahiptirler. Bu gözeneklerdeki su kristal yapısı bozulmadan uzaklaştırılabilir. Yani su alış verişi tersinir olarak yapılabilir. Gözeneklerdeki suyun uzaklaştırılması ile özgül yüzey alanı büyür ve dolayısıyla adsorplama gücü artar.

9.3.2 Zeolitlerin yapısal Özellikleri

Silisyum dioksit örgüsündeki silisyum atomları yerine kısmen alüminyum atomlarının gelmesiyle üç boyutlu silikatlar oluşur. Bu üç boyutlu örgüye sahip silikatlar alüminosilikat bileşiminde olmalıdırlar. Üç boyutlu kristal örgüsündeki alüminosilikatlar olan zeolitler, genel olarak aşağıdaki formül ile tanımlanırlar.



bu formül de $x=2$, n ise M katyonunun değerliliğini göstermektedir. Kristalografik birim hücre için yapı formülü ise şu şekilde verilir.



Burada M_x : değerliliği, n : katyonu, w : su moleküllerinin sayısını, $(x+y)$ ise dört yüzeylilerin toplama

mini göstermektedir. Zeolitlerin kristal örgüsündeki oksijen atomlarının sayısının silisyum ile alüminyum atomlarının toplam sayısına oranı $O/(Si\ Al)=2$ dir. Kristal örgüsündeki Al/Si oranı değiştikçe de farklı zeolitler oluşmaktadır. ve Al/Si oranı zeolitlerde

$$\frac{1}{5} < \frac{Al}{Si} < \frac{1}{1}$$

arasında değişmektedir.

9.3.3 Zeolitlerin Sınıflandırılması

Zeolitlerin doğa da doğal olarak bulundukları gibi, yapay olarak da elde edilebilirler. O halde zeolitleri doğal zeolitler ve yapay zeolitler olmak üzere ayrı ayrı inceleyelim.

9.3.3.1 Doğal Zeolitler

Doğal zeolitler de kendi aralarında sınıflandırılmışlardır. Bu sınıflandırma Tablo 9.1 de verilmiştir.

9.3.3.2 Yapay Zeolitler

Zeolit minerallerinin en küçük yapı taşları olan düzgün dörtyüzlü geometrisindeki $[SiO_4]^{-4}$ ve $[AlO_4]^{-5}$ iyonları oksijen köprüleriyle birleşerek Şekil 9.8 de görülen ultramarin adlı alumina silikatın birim hücre-sini oluştururlar. Zeolit karakterli olmayan ultramarin $Na_6 \cdot Al_6Si_6O_{24} \cdot Na_2S_2$ nin birim hücresi zeolitler için daha büyük bir yapı taşı olmaktadır. Bu yapı taşlarının elmas tipinde yeniden sıralanmasıyla Şekil 9.9 da görülen, Fujasit adı verilen zeolit oluşmaktadır. Fujasitin kimyasal formülü,

1 - Analsim Grubu

Analsim

Lomontit

2 - Natrolit Grubu

Natrolit

Tomsonit

Edingtonit

3 - Şabazit Grubu

Şabazit

Eriyonit

Gmelibit

4 - Filipsit Grubu

Filipsit

Gismondin

5 - Höylandit Grubu

Höylandit

Kliniptilotit

Stilbit

6 - Mordenit Grubu

Mordenit

Ferriyetit

Deshiartit

7 - Foyasit Grubu

Foyasit

Linde A

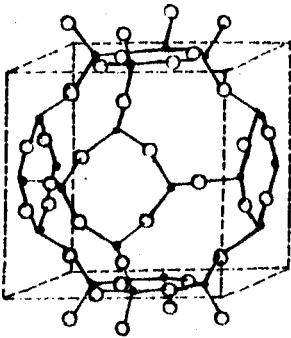
8 - Melanofiyagit Grubu

Klarat

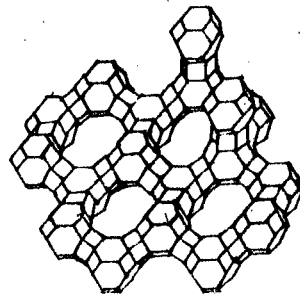
Melanofiyagit Grubu

ZSM - 39

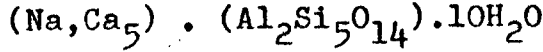
Tablo 9.1 Doğal Zeolitlerin Sınıflandırılması (4).



Şekil 9.8



Şekil 9.9



şeklindedir. Eğer ultramarin yapı taşları basit kü-bik sisteme göre istiflenirse formülü,

$\text{Na}_{12} \cdot (\text{Si}_{12}\text{Al}_{12}\text{O}_{48}) \cdot 27 \text{H}_2\text{O}$ olan A tipi yapay zeolit tipi oluşur. Küpün merkezinde çapı 0.42 nm olan bir boşluk oluşur. Ortada ve 0.42 nm genişliğindeki pencerelere sahip 0.775 nm^3 hacmindeki bu büyük boşluk 0.2 nm genişliğinde pencerelere sahip 0.157 nm^3 hacmindeki 8 küçük boşluk tarafından sarılmıştır. Bu 8 küçük boşluğu oluşturan ultramarin yapısındaki her bir yapı taşına SODALİT GRUBU da denir.

Eğer bu sodalit grupları elmas yapısında sıralanırsa X tipi yapay zeolitler oluşur. Böylece sodalit gruplarının farklı şekillerde istiflenmesi yanında değişebilen katyonların da farklı olması ile farklı özelliklere sahip çok sayıda yapay zeolit üretilmektedir. Bunlardan bazılarının ticari adları 3A, 4A, 5A, 10X ve 13X şeklinde sıralanabilir.

9.3.4 Zeolitlerin Kullanım Alanları

Yapay zeolitler doğal zeolitlere göre daha iyi adsorplayıcıdırlar. Doğal zeolitler ise işlendikten sonra daha verimli olarak kullanılabilmektedir.

Zeolitler adsorplananın çok küçük derişimlerinde bile büyük adsorplama gücüne sahiptirler. Seçici olarak adsorpladıklarından molekülleri boyutlarına göre ayırma olanağı sağlarlar. Bu yüzden moleküler elek olarak kullanılabilirler.

Sıcaklık yükselmesiyle adsorplama güçleri azalır ve oldukça yüksek sıcaklıklarda da adsorpladıkları maddeleri kristal yapıları bozulmadan geri verirler. Adsorpladıkları madde ile kimyasal bir tepkimeye girmezler yani yalnızca fiziksel adsorpsiyon yaparlar. Doymamış organik bileşikleri ve polar molekülleri daha kolaylıkla adsorplarlar ve özellikle suyu en fazla adsorpladıklarından gaz ve sıvıların kurutulmasında kullanılırlar.

Laboratuvarlarda yüksek vakum sağlamada ve endüstride petrol ürünlerinin ayrılmasında kullanılırlar.

Ayrıca, yapı taşı, Pozzolan çimentosu, hayvan yemi ve tarımda da kullanılır.

Desorpsiyon yapılarak binlerce kez yeniden kullanıldıkları için de çok ekonomiktirler.

9.3.5 Türkiye' deki Doğal Zeolit Yatakları

Ülkemizde zeolit yataklarını bulma çalışmaları İç Anadolu ve Ege bölgelerinde yapılmıştır. Ankara' nın çevresinde az miktarda kliniptilotit, kliniptilolitle birlikte eriyonit, analsim ve analsimle karışık olarak az miktarda filipsite rastlanmıştır.

Ege bölgesinde Bigadiç, Şaphane, Gediz ve Emet dolaylarında bol miktarda ve saf olarak kliniptilotit ve analsim bulunmuştur. Ca^{++} ve K^{+} esaslı olmaları yönünden höylendit mineralini andıran bu oluşumların, ısı kararlılıkları ve diğer özelliklerinin araştırılması sonucu bu yatakların kliniptilotit olduğu kesin-

lik kazanmıştır.

Yine Ege bölgesinde, İzmir - Urla karayolu ve Aydın yörelerinde de benzeri oluşumlara rastlanmıştır. Genel olarak, Ege bölgesindeki bu yatakların, Kaba rezerv çalışmalarına göre 50.10^6 ton olduğu, gerçekte ise rezerv bu sayının çok üzerindedir. Ayrıca, Ürgüp yakınlarında bol safsızlık içeren lifli şabazit, eriyonit ve mordenit bulunmuştur (4).

Analsim ve kliniptilotit dışındaki şabazit, eriyonit ve mordenit gibi kullanım potansiyelleri olan doğal zeolitlerin saf olmamaları ve rezervlerinin yeterli olmaması yapılan yayınlardan anlaşılmaktadır. Analsimin kapalı yapılı ve kil minerallerine benzer bir zeolit türü olması kullanılma potansiyelini sınırlamaktadır. Bugün yalnızca Ege bölgesinin kuzey ve doğusundaki kliniptilotit yataklarının ekonomik değer taşıdıkları söylenebilir.

10. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ZEOLİTE DEPO EDİLMESİ

Bir hava ısıtma sistemi için depolama ortamı, gözenekli yapıda katı bir madde olmalıdır. Zeolit, gözenekli yapıda, kuvvetli adsorplama özelliğine sahip bir katıdır.

O halde zeolit, Bölüm 9 da ayrıntılı olarak incelendiği gibi, güneş enerjisinin depolanması için, istenen koşulları sağlayan yapıdadır.

Bu çalışmada güneş enerjisinin zeolite depo edilmesini incelemek amacı ile, Şekil 10.1 de gösterilen sistem düşünülmüş ve sistemi oluşturan birimlerin büyük bir kısmının yapımı tamamlanmıştır.

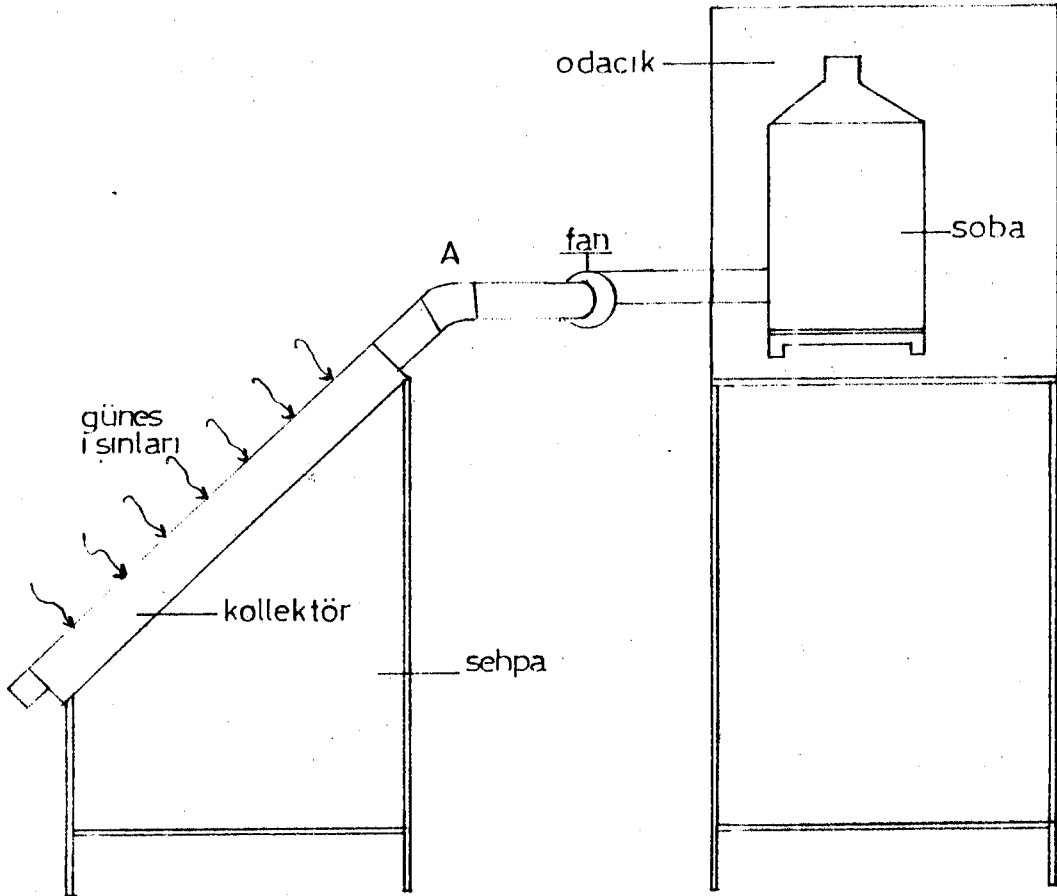
Çalışmada kullanılacak olan zeolit, Balıkesir' in Bigadiç yöresinden getirilmiştir. Bu doğal zeolit'in yapısal özellikleri, Dr. YÖRÜKOĞULLARI, E. tarafından doktora tezi çalışması olarak incelenmiştir.

10.1 Güneş Enerjisinin Zeolite Depo Edilebilirliğinin

İnceleneceği Sistem

Kollektör üzerine gelen güneş ışınları, yutucu yüzeyde soğrulurlar ve bu yüzeyin sıcaklığını artırırlar. Dolayısıyla güneş enerjisi ısı enerjisine dönüştürülmüş olur. Sıcaklığı artan yüzeyden, havaya bu enerji transfer edilir. Hava da bu enerjiyi, zeolit'in gözeneklerindeki su buharını atmada kullanır. Zeolit'in gözeneklerindeki su buharı kalmayıncaya kadar sıcak havayla kurutulur. Sonra zeolit'in bulunduğu kolonun giriş ve çıkışları, havanın giriş ve çıkışları-

nı engelleyecek şekilde kapatılır. Çünkü zeolit, çok kuvvetli adsorplama özelliğine sahip bir maddedir. Bu defa zeolitten çevreye enerji verilmesi istendiğinde, kolonun giriş ve çıkışları açılır ve girişe nemli hava verilir. Zeolit, çevredeki nemi adsorplarken, desorpsiyon esnasında aldığı enerjiyi, ısı enerjisi şeklinde çevreye geri verir. Bu işlem enerjinin güneşin enerjisinden yararlanıldığı zaman, hem odanın ısıtılması hem de zeolite depo edilmesi, güneşin olmadığı zamanda ise, depo edilen bu enerjinin çevreye verilmesi şeklinde sürekli olarak gerçekleştirilir.

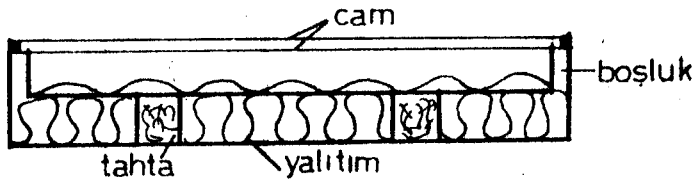


Şekil 10.1

Dolayısıyla böyle bir sistemin, güneş enerjisinin süreksiz oluşu problemini, bu tip kullanımlar için çözmesi sağlanmış olur. Şekil 10.1 de gösterilen sistemi oluşturan birimler sırasıyla, sıcak hava kollektörü, venturimetre, fan, kolon, zeolit ve izole edilmiş çevredir.

10.1.1 Düzlem hava kollektörü

Çalışmada kullanılan kollektörün kesiti Şekil 10.2 de gösterilmektedir.

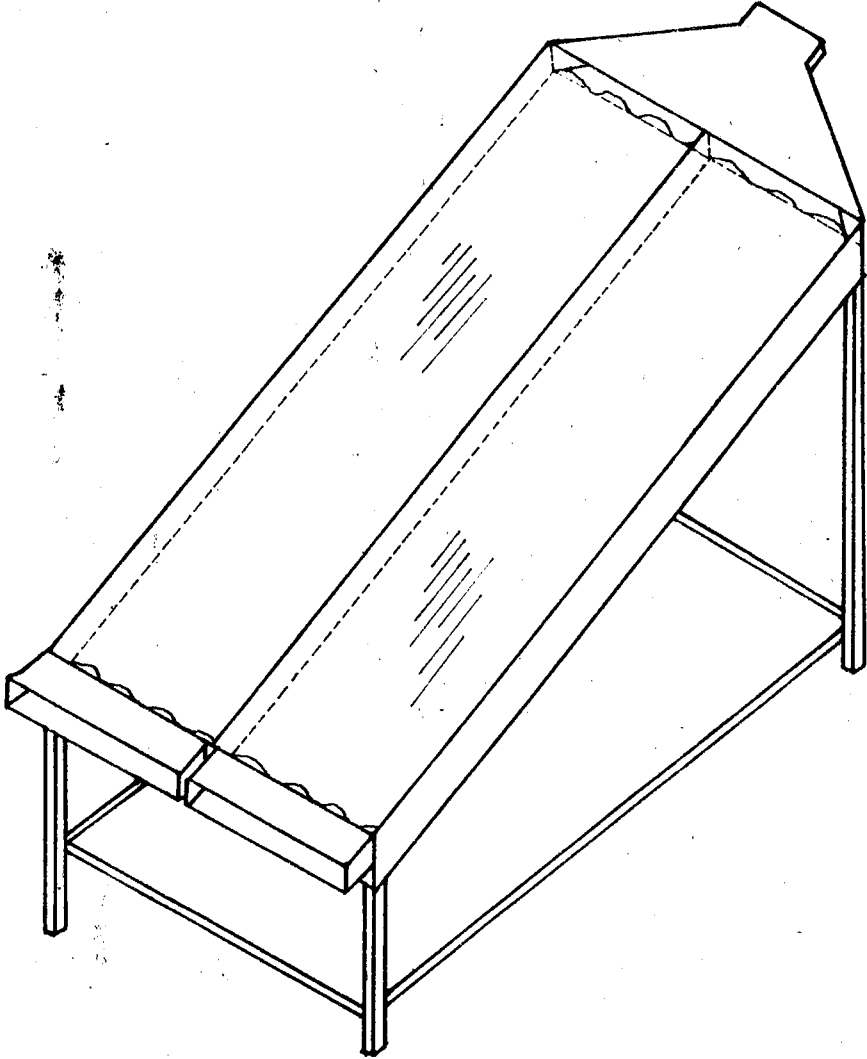


Şekil 10.2 Düzlem hava kollektörünün kesit görünüşü

Hava kollektörlerinin, verimi ve maliyeti göz-önünde bulundurulmak koşuluyla çeşitli tipleri kullanılabilir. Bu kollektör tiplerinden bazıları Bölüm 8 de incelenmiştir. Kollektörün kesit görünüşünden de görüldüğü gibi hava, hem olukların üzerinden hem de altından akmaktadır.

Kollektörün verimini ölçebilmek, kollektörle ilgili hesaplamalar yapabilmek için yutucu yüzeyin sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Sıcaklık ölçümü için termokupllar, yutucu yüzeyin üzerine raptedilmiştir. Kollektörün yüzey alanını arttırmak için iki

kollektör yan yana getirilerek bir takım düzenlemeler yapılmıştır. Şekil 10.3 de perspektif görünüşü gösterilen kollektörün, giriş ve çıkışına bazı kısımlar ilave edilmiştir. Ayrıca giren havanın tozlu olmasını önlemek amacıyla kollektörün girişine süzgeç (ince sünger tabaka) konulmuştur.

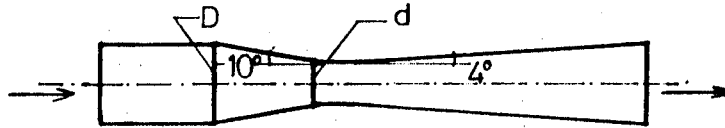


Şekil 10.3 Düzlem hava kollektörünün perspektif görünüşü

10.1.2 Venturimetre

Kollektör verimini ölçebilmek ve kollektörün sağladığı sıcak havanın debisini kontrol edebilmek için, bir akışölçer gereklidir. Sistemimiz için sıcak havanın akış hızını ve debisini ölçebilecek en uygun ağıt venturimetredir.

Şekil 10.3 de gösterilen venturimetre, TSE nin normlarına uygun olarak, A.U. Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü atölyesinde yapılmıştır. Bu venturimetrenin karakteristikleri $d=6$ cm, $D=11$ cm, $\beta=d/D$ ve $\beta=0.545$ dir.



Şekil 10.3

10.1.2.1 Venturimetre ile akışkanın hızının ve debisinin ölçülmesi

Şekil 10.3 de görülen venturi akışölçerleri, dü gün olarak daralan bir bölümü, yani bir boğazı bulunan bir borudan oluşur. Bu boğaz, akışkan hızının artmasına yolaçar. Hızın artmasıyla birlikte statik basınçta, ölçülebilen bir düşüş de ortaya çıkar. Dolayısıyla akışkanın, D yarıçaplı bölgedeki basıncı ile d yarıçaplı bölgedeki basıncı arasındaki farktan hızı hesaplanabilir. Hız ifadesi, venturimetrenin A ve B noktaları arasına enerji korunumu ve süreklilik denk-

lemi uygulanarak bulunur.

Venturimetrenin A ve B noktaları arasındaki bölgede, kararlı bir akım için enerji korunumu

$$\frac{P_A}{\gamma_1 g} + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\gamma_2 g} + \frac{V_B^2}{2g} \quad 10.1$$

dir. $\gamma = \gamma_1 = \gamma_2$ ve sıkıştırılamayan akışkanlar için, $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ ifadelerinden 10.1 denklemi

$$\frac{V_B^2 - V_A^2}{2g} = \frac{P_A - P_B}{\gamma} \quad 10.2$$

şeklini alır. Venturimetrenin D yarıçaplı kısmının kesit alanı $A_1 = (D/2)^2$ ve d yarıçaplı kısmın kesit alanı $A_2 = (d/2)^2$ olmak üzere, süreklilik denklemi

$$V_A A_1 = V_B A_2 \quad \text{den,}$$

$$V_A = V_B (d/D)^2 \quad 10.3$$

dir. 10.3 ifadesi, 10.2 denkleminde yerine konulursa, $\beta = d/D$ olmak üzere, akışkanın B noktasındaki hızı,

$$V_B = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{\frac{2g (P_A - P_B)}{\gamma}} \quad 10.4$$

dir. d yarıçaplı bölgede 1 sn. de teorik olarak geçen akışkanın verdisi, $G_0 = A_2 \gamma V_B$ dir ve

$$G_0 = \pi (d/D)^2 \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{\frac{2g (P_A - P_B)}{\gamma}} \quad 10.5$$

olur. Gerçek verdi ile teorik verdi arasındaki bağıntı

$$G = \alpha G_0 \quad 10.6$$

şeklinde verilir. Buradaki akım katsayısıdır.

$\varphi = \alpha / \sqrt{1 - \beta^4}$ olmak üzere D yarıçapına göre gerçek verdi,

$$G = \varphi \frac{\pi D^2}{4} \beta^2 \sqrt{2g (P_A - P_B) \gamma} \quad 10.7$$

şeklini alır. Burada G akımın gerçek verdisi (kg/s), $\beta = d/D$, g yerçekimi ivmesi (m/sn^2), P_A akışkanın A daki statik basıncı (kg/m^2), P_B akışkanın B daki statik basıncı (kg/m^2), akışkanın özgül ağırlığı (kg/m^3) dir.

$(P_A - P_B)$ basınç farkı, bir U - manometresi yardımıyla sıvı sütunu olarak ölçülürse

$$P_A - P_B = (\gamma_s - \gamma) \Delta h \quad 10.8$$

dir. Burada γ_s manometre sıvısının özgül ağırlığı (kg/m^3), γ akışkanın özgül ağırlığı (kg/m^3), Δh sıvı sütunları arasındaki yükseklik farkı (m) dir. Basınç farkının sıvı sütunu olarak ölçülmesi halinde verdi ifadesi,

$$G = \varphi \frac{\pi D^2}{4} \beta^2 \sqrt{2g (\gamma_s - \gamma) \Delta h} \quad 10.9$$

şeklini alır.

Sıkıştırılabilen akışkanlar için, verdi ifadesi, küçük basınç düşüleri için akışkan sıkıştırılamaz kabul edilir ve verdi buna göre bulunabilir.

Sıkıştırılabilen akışkanların verdisi ile sıkıştırılamayan akışkanların verdisi arasında

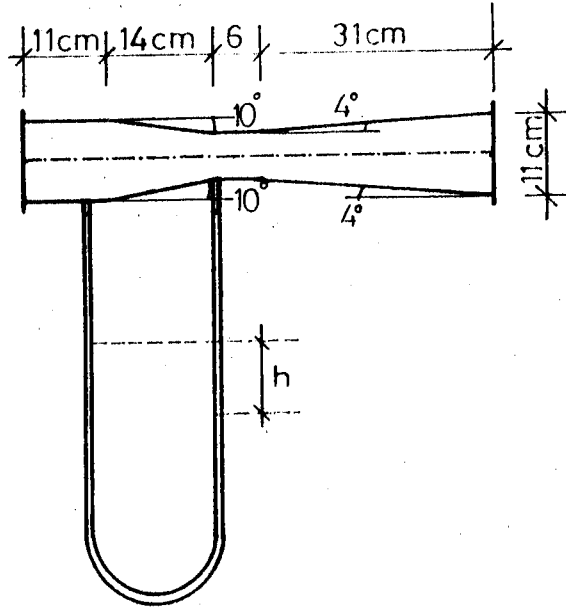
$$\psi = \frac{G(\text{sıkıştırılabilir})}{G(\text{sıkıştırılamayan})} \quad 10.10$$

oranı vardır. Bu oran genleşme faktörü olarak da ad-

landırılır. Sıkıştırılabilen akışkanların verdi ifadesi, 10.9 ve 10.10 denklemlerinden

$G(\text{sıkıştırılabilen}) = \psi G(\text{sıkıştırılamayan})$ 10.11
şeklindedir. 10.9 denklemi sıkıştırılamayan akışkanlar için verdi ifadesidir.

Pratikte karşılaşılan P_B/P_A oranları 0.98-0.99 civarındadır(18). $k = c_p/c_v$ ve $\beta = d/D$ dir. Dolayısıyla U-manometresinde, sıvı sütunları arasındaki yükseklik farkı, ölçülerek, hız ve verdi ifadeleri bulunmuş olur. Şekil 10.4 de U-manometreli bir venturimetre görülmektedir (18).



Şekil 10.4

10.1.3 Fan/Kolon/İzole edilmiş ortam

Gerektiğinde kullanılmak üzere, şekil 10.1 de görüldüğü gibi, kollektörden elde edilen sıcak havayı kolona göndermek için fan kullanılır.

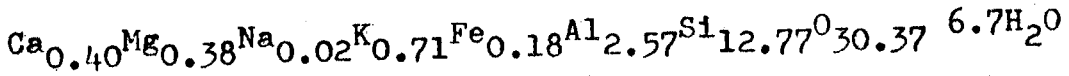
Kolon; Amaca uygun olarak dizayn edilmiş, zeolitinin konulduğu bir kaptır.

İzole edilmiş ortam; Zeolitin adsorpsiyonu ve desorpsiyonu esnasında, ortam ve zeolitteki sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, belli hacimde çevre ile ısı alışverişi olmayan bir ortam gereklidir. Böyle bir ortam, şekil 10.1'deki sistem şemasında görülmektedir.

10.1.4 Zeolit

Zeolitin, yapısal özelliklerini bulmaya yönelik yapılan araştırmalar sonucu, aşağıdaki değerler bulunmuştur.

Etibank Bigadiç Madenleri İşletmesinden sağlanan zeolitik tüfler klinoptilolitçe zengindir ve kimyasal formülü



olarak ifade edilir (4).

. Si/Al oranı	4.96
. Dış özgül yüzey alanı	$S_A = 14 \text{ cm}^2/\text{gr}$
. Yoğunluğu	$\rho = 1.70 \text{ gr/cm}^3$
. Katyon değişim kapasitesi	$\text{K.D.K} = 2.5 \text{ meq/g}$
. Adsorpsiyon ısısı	$\Delta H = 424 \text{ kJ/kg}$
. Ca^{++} iyon değişimi yapılmış zeolitik tüfün adsorpsiyon ısısı	$\Delta H = 855 \text{ kJ/kg}$
. Maximum su kapasitesi	$0.12 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Ads.bent}}$
. Hacımsal ısı kapasitesi	$Q = 4.34 \cdot 10^8 \text{ J/m}^3$

. Kurutulması 250°C de yapılan
numunelerin ıslanma ısısı

$$Q = 0.123 \text{ kJ/gr}$$

.Örneğin 80°C de kurutulan zeolitik
tüfün adsorpsiyon ısısı

$$\Delta H = 188.2 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/gr}$$

. Isınma ısısı

$$C_Z = 0.24 \text{ cal/gr}^{\circ}\text{C}$$

. Uygun parçacık boyutu

$$2.5 - 1.6 \text{ mm}$$

TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada güneş enerjisinin depolanması ve sistemleri oluşturan birimler, incelendi.

Örneğin, 15/7/1986 tarihinde 10.00 ile 16.00 saatleri arasında ölçülen güneş ışınımı şiddeti, ortalama 546 W/m^2 dir. 6 saat bu ışınlımdan yararlandığımızı varsayarsak, güneş kolektörünün yüzey alanı 2 m^2 olduğuna göre, kolektöre gelen güneş enerjisi $236 \cdot 10^2 \text{ kJ}$ dür. Kolektörün Temmuz-1986 için ölçülen verimi % 49 % 50 olduğuna göre sağlayacağı yararlı enerji $118 \cdot 10^2 \text{ kJ}$ dür. Bunun parasal miktarı incelenerek diğer yakıtlarla karşılaştırılması yapılabilir.

Sıcak- su kolektörlerinden, kalorifer sisteminde yardımcı enerji sistemi olarak yararlanılabilir. Bu kullanım şekli, yakıt harcamalarında hissedilir ölçüde tasarruf sağlayacaktır.

Güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaşması, hava kirliliği probleminin çözülmesine büyük katkılarda bulunacaktır.

Ayrıca sıcak - hava kolektörleri, doğrudan konutların ısıtılmasında denenmelidir. Değişik hava kolektörlerinin verimleri incelenerek uygun kolektör tipi ortaya çıkarılmalıdır.

Zeolitin teknik olarak güneş enerjisini depoladığı gerçek anlamda ortaya çıkarsa, bu fosil yakıtlara karşı ümit verici bir alternatif olacaktır.

EK AÇIKLAMALAR - A

Termokuplların kalibrasyonu için yapılan deneyde alınan sıcaklık - milivolt değerlerinin $f(mV)$ T grafiği çizilmiştir. Bu grafik lineerdir. O halde sıcaklık - milivolt ifadesi

$$T = A + B V \quad 1$$

şeklindedir. A ve B katsayılarının en küçük kareler yöntemi ile bulunması aşağıda verilmiştir.

1. Deneyden elde edilen $V(mV)$ ve T değerleri 1 denkleminde yerine konur. Eğer n tane deneysel nokta varsa A ve B yi ihtiva eden n tane denklem bulunur.

2. Birinci normal denklemi elde etmek için bu n denklemin herbiri A nın katsayısı ile çarpılıp taraf tarafa toplanır.

3. İkinci normal denklemi elde etmek için denklemlerin herbiri B nin katsayısı ile çarpılır ve taraf tarafa toplanır.

4. Aşağıdaki iki denklem elde edilir.

$$\sum T = \sum A - B \sum V \quad 2$$

$$\sum T V = A \sum V - B \sum V^2 \quad 3$$

A ve B katsayıları denklem 2 ve denklem 3 den yararlanılarak çözülür (24).

EK AÇIKLAMALAR - B

```

900 DIM T(30)
910 DIM V(30)
1000 PRINT 'VERİ ADETI';:INPUT N
1010 FOR I=1 TO N
1020 PRINT I;'DEĞERİ GIR / T(I),V(I) ';;INPUT T(I),V(I)
1025 NEXT I
1030 IT=0 : AT=0 : BT=0 : I2T=0 : A2T=0 : B2T=0 : D=1
1031 PRINT '*****'
1032 PRINT
1033 PRINT 'T(I)', 'V(I)'
1034 PRINT '====', '===='
1035 FOR I=1 TO N
1036 PRINT T(I),V(I)
1037 NEXT I
1038 PRINT '*****'
1040 FOR I=1 TO N
1050 IT=IT+D*T(I)
1060 AT=AT+D*D
1070 BT=BT+V(I)
1080 NEXT I
1090 Y1=IT
1100 X1=AT
1110 X2=BT
1120 FOR I=1 TO N
1130 I2T=I2T+V(I)*T(I)
1140 A2T=A2T+V(I)*D
1150 B2T=B2T+V(I)*V(I)
1160 NEXT I
1170 Y2=I2T
1180 X3=A2T
1190 X4=B2T
1200 PRINT '*****'
1210 PRINT
1220 PRINT 'Y1=';Y1
1230 PRINT 'X1=';X1
1240 PRINT 'X2=';X2
1250 PRINT 'Y2=';Y2
1260 PRINT 'X3=';X3
1270 PRINT 'X4=';X4
1280 PRINT
1290 PRINT '*****'
1300 PRINT
1310 A1=(X2*Y2)-(Y1*X4)
1320 A2=(X3*X2)-(X1*X4)
1330 A=A1/A2
1340 B1=Y1-(A*X1)
1350 B=B1/X2
1360 PRINT 'A KATSAYISI=';A
1370 PRINT
1380 PRINT 'B KATSAYISI=';B
1390 PRINT '*****'
1391 PRINT
1400 PRINT 'T=';A;'+';B;'V'

```

EK AÇIKLAMALAR - C

Örnek, 20°C sıcaklık farkı (ilk sıcaklık 20°C son sıcaklık 40°C) için, su, çakıl taşı (granit) ve lauber tuzu ile depolanan ısınnın aynı olması için gerekli hacimlerin karşılaştırılması

Sıcaklığı T_1 ve kütlesi m olan bir madde T_2 sıcaklığına yükseltirirse, ısı kapasitesi dolayısıyla depolanan hissedilir ısı

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) = V \rho c_p \Delta T \quad 1$$

şeklinde yazılabilir.

Erime sıcaklığı T_e olan bir maddenin katı haldeki sıcaklığı T_1 ve sıvı haldeki sıcaklığı ise T_2 ise, katı halden sıvı hale geçen bir maddenin depoladığı ısı miktarı

$$Q_d = m c_{pk} (T_e - T_1) + m h_{ks} + m c_{ps} (T_2 - T_e) \quad 2$$

dir. Burada m , maddenin kütlesi, h_{ks} erime gizli ısıdır.

Su ile depolanan ısı, $c_p = 4.2 \text{ kJ/kg} - \text{K}$ alınarak bir denklemden

$$Q = 1000 V_s 4.2 (40 - 20) = 84000 V_s \text{ kJ/m}^3$$

Çakıl taşı için $\rho_c = 2700 \text{ kg/m}^3$ ve $c_p = 0.754 \text{ kJ/kg-K}$ alınarak 6.1 denklemden

$$Q = 40716 V_s \text{ kJ/m}^3 \text{ bulunur.}$$

Glauber tuzu için $\rho_b = 1330 \text{ kg/m}^3$ alınarak

$$Q = 1330 278.68 V_g = 370644 V_g \text{ kJ/m}^3$$

elde edilir.

Bu sonuçlara göre, aynı miktarda ısıнын depolanabilmesi için

$$V_s/V_g = 4.41$$

$$V_g/V_g = 9.10$$

$$V_g/V_s = 2.06$$

olmaktadır. Yukarıdaki oranlarda V_s suyun hacmi, V_g çakılın hacmi, V_g Glauber tuzunun hacmiğdir.

Örneğın, 10^6 kJ ısıнын depolanabilmesi için,

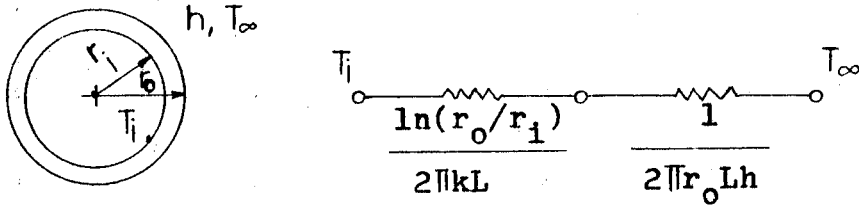
su ile depolamada 11.9 m³

çakıl taşı ile depolamada 24.6 m³

Glauber tuzu ile depolamada 2.7 m³

hacım gerekmektedir. Görüldüğü gibi Glauber tuzu ile ısı depolamasında gerekli hacım diğerlerine göre çok küçük olmaktadır.

EK AÇIKLAMALAR - D



Şekilde gösterildiği gibi, bir borunun dış kısmı yalıtılmıştır. Yalıtımın iç sıcaklığı T_1 ve dış yüzey sıcaklığı T_∞ dur. Sıcaklığın T_∞ olduğu kısımda konveksiyonla (taşınım) ısı kaybı olmaktadır. Radyal yönde ısı kaybı

$$q = \frac{2\pi L (T_1 - T_\infty)}{\frac{\ln(r_0/r_1)}{k} + \frac{1}{r_0 h}} \quad 1$$

dır. Kritik yarıçap aşağıdaki ifadeden

$$\frac{dq}{dr_0} = 0 = \frac{2\pi L (T_1 - T_\infty) \left(\frac{1}{kr_0} - \frac{1}{hr_0^2} \right)}{\left[\frac{\ln(r_0/r_1)}{k} + \frac{1}{r_0 h} \right]^2} \quad 2$$

elde edilir ve bunun sonucu

$$r_0 = \frac{k}{h} \quad 3$$

dır. Eğer dış yarıçap denklem 3 de verilen sonuçtan küçük olursa, ısı transferi (ısı kaybı) artacaktır.

Dış yarıçap r_0 kritik yarıçaptan büyük olursa ısı kaybı azalacaktır.

SİMGELER

- λ Isı iletim katsayısı, $W/m^{\circ}C$
- Q Birim zamanda ısı transferi miktarı, W
- h Isı taşınım katsayısı (film katsayısı), $W/m^2^{\circ}C$
- σ Stefan Boltzman sabiti, $W/m^2^{\circ}K^4$
- I_T Toplam güneş ışınımı şiddeti, W/m^2
- ρ Yoğunluk, kg/m^3
- c_p Sabit basınçta özgül ısı, $kJ/kg^{\circ}C$
- V Debi, m^3/sn
- α Güneş ışınımını soğurma oranı
- ϵ Termal ışınım yayma oranı
- ρ_y Gelen ışını yansıtma oranı
- K Toplam ısı transferi katsayısı, $W/m^2^{\circ}C$
- T_p Yutucu yüzey sıcaklığı, $^{\circ}C$
- T_{φ} Çevre sıcaklığı, $^{\circ}C$
- T_b Boru sıcaklığı, $^{\circ}C$
- δ Levha kalınlığı, m
- S Yutucu yüzey üzerine gelen güneş ışınımı, W/m^2
- F_v Toplayıcı verim katsayısı
- T_{ag} Akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı, $^{\circ}C$

$T_{a\check{c}}$ Akışkanın çıkış sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

T_d Depo sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$

$T_s = T_p$

K_d Deponun yan yüzeylerinden ısı geçiş katsayısı,
 $\text{W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$

KAYNAKÇA

1. Aydemir, A., Güneş Enerjisinin Depo edilmesi, E.D.M.M.A. Dergisi, 3. 327 - 338, 1978
2. Aydemir, A., Hidrojen Üretimi, Türkiye 4. Enerji Kongresi, Poster Tebliğler, İzmir 109 - 120, 1986
3. Erdik, Ender., Sarıkaya, Yüksel., Temel Üniversite Kimyası, Ankara 1984.
4. Yörükoğulları, Ertuğrul., Güneş Enerjisinin Doğal Zeolite Depolanması Doktora Tezi, 35 - 40, 1985.
5. Kakaç, Sadık., Örneklerle Isı Transferi, Ankara 1972.
6. Holman, J.P., Heat Transfer, Tokyo, 1976.,
7. Kakaç, Sadık.- Isı İletimi, Ankara, 1982.
8. Türkiye' nin yeni ve Temiz Enerji Kaynakları, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Ankara, 1984
9. Oral, Muzaffer., Güneş Pilleri, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Genel Fizik Kürsüsü, İzmir, 1979.
10. Köse, Salih., Yarıiletken Güneş Pilleri Ve Verimlilikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 1986.
11. Glass, David., Bilim ve Teknik Dergisi, 171, 1982.
12. Bilim ve Teknik Dergisi, 1980.
13. Termokupplar, Teknim, Katalog, E - 110, 1979.

14. Öztürk, Aysel., Güneş Enerjisi, İstanbul, 1983.
15. Güneş Enerjisi ve Isısal Dönüşüm Sistemleri, Çağdaş Fizik, İstanbul, 1980.
16. Deriş, Neşe., Güneş Enerjisi, Sıcak Su ile Isıtma Tekniği, İstanbul, 1979.
17. B. E. Cole - Appel, R. D. Haberstroh., Performance of Air - Cooled Flat Plate Collectors, Colorado State University, Mechanical Engineering Department, Ft. Collins, Colorado
18. Öz, İ. Hakkı., Kuvvet Makinalarında Ölçü Tekniği İ.T.U. Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul 1982
19. Ranauld V. Giles, B. S., M. S., Fluid Mechanics and Hydraulics, Schaum's Outline Series, McGraw - Hill Book Company, New York, 1977
20. Gelişim Yayınları, Nasıl Çalışır Ansiklopedisi, 7. cilt, İstanbul, 1980
21. Kreider, Jan F., Kreith, Frank., Solar Heating and Cooling Active And Passive Design, Second Edition McGraw - Hill Book Company
22. Szokolay, S V., Solar Energy and Building, Second Edition, John Wiley and Sons, New York, 1978
23. Taner, Kemal., Güneş Işınımı, Termosifon Akışlı Toplaç - Ayna Sistemlerinde Isıl ve Akış Analizi, Dr. Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1987

24. Cullity, B. D., Çev., Sümer, Ali. v X - Işınla-
rının Difraksiyonu, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1966
25. Norton, T. W., Solar Energy Experiments, New York
1977.