

Güneş Enerjisi ile Absorpsiyonlu Soğutma ve Eskişehir İli için Bir Sayısal Örnek

Selcan Kayıkçı Çolpan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2012

Absorption Cooling with Solar Energy and A Numerical Modelling for Eskişehir

Selcan Kayıkçı Çolpan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

January 2012

Güneş Enerjisi ile Absorpsiyonlu Soğutma ve Eskişehir İli için Bir Sayısal Örnek

Selcan Kayıkçı Çolpan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji-Termodinamik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Haydar ARAS

Ocak 2012

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Selcan Kayıkçı Çolpan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Güneş Enerjisi ile Absorpsiyonlu Soğutma ve Eskişehir İli için Bir Sayısal Örnek” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. Haydar ARAS

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Kemal TANER

Üye : Prof. Dr. L. Berrin ERBAY

Üye : Doç. Dr. Haydar ARAS

Üye : Doç. Dr. Neşe ÖZTÜRK

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Ertunç TAT

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenmekte olduğu günümüzde enerji kaynaklarının etkin olarak kullanılması ve doğaya zarar vermeden enerji üretilmesine olanak tanıyan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmaların hızla artırılması gerekmektedir. Dünyada güneş enerjisinin soğutma amacıyla kullanılmasına olan ilginin özellikle Avrupa ülkelerinde oldukça yaygın olduğu görülmektedir.

Tez çalışmasında, soğutma sistemleri ile ilgili temel notasyonların hatırlatılmasından sonra absorpsiyonlu soğutma sisteminin güneş enerjisi ile desteklenerek çalıştırılması analiz edilmiştir. Çalışmada analizi yapılan absorpsiyonlu soğutma sistemini oluşturan elemanlar ile sistemin temel girdisi olan güneş ışınımı değerleri ayrı ayrı incelenmiştir.

Güneş enerjisi ile desteklenen bir soğutma sistem tasarım örneği oluşturmak üzere hazırlanmış bu çalışmada Eskişehir ilinde, 1000 m² kullanım alanı bulunan ve iklimlendirme amaçlı soğutma yükü 120 kW olan bir kafeteryanın güneş enerjili bir absorpsiyonlu soğutma sistemi hesaplamaları incelenmiş ve gerekli olan güneş kolektörü yüzey alanı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğutma, absorpsiyon, güneş enerjisi

SUMMARY

At the present day to run out conventional energy sources and studies of renewable energy sources for the use allow to generate energy without damaging the environment need to be rapidly increased. On the world, interest in the use of solar energy for cooling is common seen especially in the Europe countries.

In thesis study, overviewed of the cooling systems and analysed of the absorption cooling systems supported by solar energy. In the study cooling systems components which are analysed and solar radiation values these are system's base input were examined one by one.

The study which is prepared an example of absorption cooling system supported by solar energy design, was examined calculations of a café that has 1000 m² area and cooling capacity 120 kW for air-conditioning in Eskişehir and calculated flat plate solar collector surface area which was need.

Keywords: Cooling, absorption, solar energy

TEŞEKKÜR

Enerji kaynaklarının etkin kullanılması ve özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaların hızla hayata geçirilmesi gereken günümüzde bu çalışmayı hazırlamama öncülük eden ve bu tez çalışmamda bana danışmanlık ederek destek olan değerli danışmanın Sayın Doç. Dr. Haydar ARAS hocama sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca bu çalışmayı hazırlarken manevi destekleri ile yanımda varlıklarını her zaman hissettiğim aileme teşekkürü borç bilirim.

Selcan KAYIKÇI ÇOLPAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1 GİRİŞ.....	1
2 SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	3
2.1 Mekanik Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Sistemleri	3
2.2 Soğurmalı Soğutma Sistemleri	7
2.2.1 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi.....	7
2.2.2 Adsorpsiyonlu Soğutma Sistemi.....	9
2.3 Diğer Soğutma Sistemleri	10
2.3.1 Buhar-Jet (Ejektör) Soğutma Sistemi	10
2.3.2 Hava Soğutma Sistemi.....	11
2.3.3 Termoelektrik Soğutma.....	12
2.3.4 Vorteks Borulu Soğutma Sistemleri	13
3 GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	15
3.1 Güneş Enerjili Absorpsiyonlu Soğutma Makinelerinin Tanımı	16
3.2 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Sistem Elemanlarının Tanımı.....	19
3.2.1 Soğurucu (Absorber).....	20
3.2.2 Isı Değiştiricisi.....	21
3.2.3 Eriyik Pompası	22
3.2.4 Kaynatıcı (Jeneratör).....	22
3.2.5 Ayırıcı	23
3.2.6 Yoğuşturucu (Kondanser)	24
3.2.7 Genleşme Vanası	25
3.2.8 Buharlaştırıcı (Evaporatör).....	26
3.3 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri ile Mekanik Buhar Sıkıştırırmalı Sistemlerin Karşılaştırılması	27

3.4	Tek Etkili Absorpsiyonlu Soğutma Çevriminin Termodinamik Analizi	28
3.4.1	Termodinamiğin I. Kanununa Göre Analiz.....	29
3.4.2	Absorpsiyonlu Soğutma Sistemini Oluşturan Bileşenlerde Meydana Gelen Termodinamik Süreçler	33
4	GÜNEŞ IŞINIMI HESABI	61
4.1	Atmosfer Dışındaki Düzlemlere Gelen Güneş Işınımı	66
4.2	Atmosfer Dışında Eğik Düzlemlere Gelen Güneş Işınımı	69
4.3	Yeryüzünde Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Tüm Güneş Işınımı	70
4.4	Yeryüzünde Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Direkt Güneş Işınımı	72
4.5	Yeryüzünde Eğik Düzleme Gelen Anlık Direkt Güneş Işınımı	73
4.6	Yeryüzünde Eğik Düzleme Gelen Günlük Direkt ve Toplam Güneş Işınımı	76
4.7	Kolektör Yüzeyi Hesabı.....	77
5	GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ.....	78
5.1	Düzlemsel Güneş Kolektörleri	78
5.1.1	Doğrusal Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörleri.....	79
5.1.2	İki Eksende Güneş İzleyici Sistemler	80
5.2	Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri	81
6	GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ABSORPSİYONLU SOĞUTMA UYGULAMASI.....	82
6.1	Eskişehir İli İçin Örnek Çalışma	83
7	SONUÇLAR.....	95
	KAYNAKLAR DİZİNİ.....	97
	İNTERNET KAYNAKLARI.....	100
EK -1	NH ₃ -H ₂ O Eriyiğinin Termodinamik Özellikleri	101
EK -2	NH ₃ -H ₂ O Eriyiği için lnP – 1/T Diyagramı	104
EK-3	NH ₃ -H ₂ O Eriyiği için Entalpi-Sıcaklık-Konsantrasyon Diyagramı	105
EK-4	NH ₃ -H ₂ O Eriyiği için Entalpi- Konsantrasyon Diyagramı	106
EK-5	Bazı istasyonlara ait yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ortalama, tüm (Q, MJ/m ² - gün), direkt (Q _D , MJ/m ² -gün), atmosfer dışı ışınım (Q _O , MJ/m ² -gün), izafi güneşlenme süresi değerleri (T/To)	107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
Q_H	: Yoğuşturucudan çekilen ısı
Q_L	: Buharlaştırıcıdaki soğutma ısısı
Q	: Toplam ısı yükü [kW]
W	: İş [kW]
q	: Birim alandaki ısı yükü [kW/m ²]
h	: Özgül Entalpi [kJ/kg]
H	: Entalpi [kJ]
m	: Kütleli debi [kg/s]
STK	: Soğutma Tesir Katsayısı
ITK	: Isıtma Tesir Katsayısı
COP	: Etkinlik katsayısı, verim
Y	: Soğutucu akışkanın (NH ₃) buhar fazındaki konsantrasyonu
\bar{Y}	: Soğutucu akışkanın (NH ₃) buhar fazındaki mol konsantrasyonu
X	: Soğutucu akışkanın (NH ₃) sıvı fazındaki konsantrasyonu
\bar{X}	: Soğutucu akışkanın (NH ₃) buhar fazındaki mol konsantrasyonu
f	: Sistemin çevrim oranı
v	: Eriyik özgül hacmi [m ³ /kg]
P	: Basınç [kPa]
A	: Yükseklik açısı
β	: Güneş azimut açısı
γ	: Yüzey azimut açısı
δ	: Deklinasyon açısı
θ	: Geliş açısı
θ_z	: Zenit açısı
ϕ	: Enlem açısı
h, H	: Saat açısı
S	: Kolektör eğim açısı
I	: Anlık güneş ışıınımı [W/m ²]

Q	: Bir günde toplam güneş ışınım miktarı [$MJ/m^2 \cdot gün$]
$A_{kolektör}$: Güneş kolektörü yüzey alanı [m^2]
f	: Güneş sabitini düzeltme faktörü
n	: 1 Ocaktan itibaren gün sayısı
a	: Angstrom denklemi sabiti
b	: Angstrom denklemi sabiti
K_Y	: Yayılı ışınım oranı (Q_Y/Q)
K_T	: Berraklık indeksi (Q/Q_o)
r_y	: Anlık yayılı güneş ışınımının günlük toplam yayılı ışınımına oranı (I_Y/Q_Y)
r_t	: Anlık tüm güneş ışınımının günlük toplam tüm ışınımına oranı (I/Q)
Z	: Deniz seviyesinden yükseklik
ρ	: Yansıtma oranı
η	: Verim

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1: Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi (Aybers, 1992)	4
Şekil 2.2 İdeal mekanik buhar sıkıştırırmalı çevrim T-s diyagramı (Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., 2000).....	5
Şekil 2.3 İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin P-h diyagramı (Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., 2000).....	6
Şekil 2.4 Absorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi	8
Şekil 2.5 Adsorpsiyonlu soğutma sistemi (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002) ..	9
Şekil 2.6 Buhar-Jet (Ejektör) soğutma sistemi (Özko, Nuri, 2004).....	11
Şekil 2.7 Hava soğutma sistem şeması (Özko, Nuri, 2004)	12
Şekil 2.8 Seebeck-Peltier Etkisi ile termoelektrik soğutma şeması (Özko, Nuri, 2004)13	
Şekil 2.9 Paralel akışlı ve karşıt akışlı vorteks tüpü (Özko, Nuri, 2004)	14
Şekil 3.1 Güneş enerjisiyle absorpsiyonlu soğutmanın şematik gösterimi. (Alternatürk, 2010).....	15
Şekil 3.2 Güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma (Praene, Bastide, Lucas, Garde, & Boyer, 2007)	16
Şekil 3.3 Amonyak-Su soğurmalı güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi şeması	19
Şekil 3.4 Soğurucunun (Absorber) şematik gösterimi (York, 2012)	20
Şekil 3.5 Tek Geçişli Isı Değiştiricisinin şematik gösterimi (wikipedia, 2012).....	21
Şekil 3.6 Eriyik pompası (York, 2012)	22
Şekil 3.7 Kaynatıcı (Jeneratör)	23
Şekil 3.8 Ayırıcı (wikipedia, 2012).....	24
Şekil 3.9 Su soğutmalı kondanser (Yoğuşturucu) şematik görünüm (wikipedia, 2012).25	
Şekil 3.10 Genleşme Vanası (Danfoss, 2012)	25
Şekil 3.11 Buharlaştırıcı (Evaporatör) (Alfa-Laval, 2012).....	26
Şekil 3.12 Absorpsiyonlu soğutma sistemi sistem bileşenleri.....	29

Şekil 3.13 İdeal absorpsiyonlu soğutma çevriminin T-s diyagramı (Tozer & James, 1997).....	30
Şekil 3.14 Absorpsiyonlu soğutma çevriminin Basınç-Sıcaklık diyagramı (Apep, 2011)	33
Şekil 3.15 Şematik olarak soğurucu.....	38
Şekil 3.16 Sıvı pompası.....	40
Şekil 3.17 Isı değiştiricisi şeması.....	43
Şekil 3.18 Eriyik genleşme vanası şematik gösterimi.....	45
Şekil 3.19 Kaynaticı (Jeneratör) ve ayırıcının şematik görünümü.....	47
Şekil 3.20 Şematik kondanser.....	53
Şekil 3.21 Soğutucu akışkan genleşme vanası şematik görünümü.....	54
Şekil 3.22 Buharlaştırıcı (Evaporatör) şematik görünüm.....	56
Şekil 4.1 Güneş enerjili soğutma sistemi şematik görünümü. (Atmaca & Yiğit, 2002).	61
Şekil 4.2 Güneş açıları (Kılıç & ztrk, 1983)	62
Şekil 4.3 Zenit açısı (Kılıç & ztrk, 1983).....	64
Şekil 4.4 Güneş açılarının birbirleriyle olan ilişkileri (Kılıç & ztrk, 1983).....	66
Şekil 4.5 Yeryüzüne gelen güneş işınımı türleri (Bulut, 2008)	74
Şekil 5.1 Düzlemsel güneş kolektörü (etiner & Bulut).....	78
Şekil 5.2 izgi odaklamalı yoğunlaştırma (etiner & Bulut)	79
Şekil 5.3 Nokta odaklamalı yoğunlaştırma (paraboloid) (etiner & Bulut)	80
Şekil 5.4 Heliostat aynalarla gelen güneş işınlarının odaklanması (etiner & Bulut)....	81
Şekil 5.5 Vakum borulu güneş kolektörü (etiner & Bulut).....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan akışkan çiftleri (Akdemir & Güngör, 2001).....	18
Çizelge 3.2 Denklem (3.5),(3.6) ve (3.7) için katsayılar (Sun, Da-Wen, 1998).....	34
Çizelge 3.3 Denklem (3.11), (3.12), (3.12) ve (3.14) için katsayılar (Sun, D.W.,1997).....	37
Çizelge 3.4 NH ₃ -H ₂ O Çözeltisinin Özgül hacim denklemi (3.16) için katsayılar (Sun, D.W.,1997)	37
Çizelge 4.1 Aylık ortalama deklinasyon açısını veren günler (Kılıç & Öztürk, 1983).....	63
Çizelge 6.1 Eskişehir için aylık ortalama sıcaklık ve güneşlenme süreleri (EİE)	88
Çizelge 6.2 Optimum düzlem eğimleri	88
Çizelge 6.3 Atmosfer dışındaki düzleme bir gün boyunca gelen güneş ışınım miktarı.....	89
Çizelge 6.4 Eskişehir ili için bir gün boyunca tüm, direkt ve atmosfer dışına ortalama güneş ışınım miktarları.....	90
Çizelge 6.5 15° Güneye dönük düzlem için R _{dg} oranı	91
Çizelge 6.6 Eğik düzleme gelen günlük toplam ışınım miktarı.....	92
Çizelge 6.7 15° Eğik düzleme gelen anlık ışınım miktarı.....	92
Çizelge 6.8 Aylara göre kolektör yüzeyleri.....	93

1 GİRİŞ

Bir maddenin veya ortamın sıcaklığını onu çevreleyen hacim sıcaklığının altına indirmek ve orada muhafaza etmek üzere ısının alınması işlemine "Soğutma" denir (Aybers, 1992). Sanayideki birçok proses için gerekli olan soğutma işlemi, elektrik gibi pahalı bir enerji kaynağı yardımı ile gerçekleştirildiğinde maliyetler artmakta ve işletmeler için fiyat rekabeti zorlaşmaktadır. Mekanik sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin yerleşim bölgelerinde ortam şartlandırması amaçlı kullanımında ise şehir elektrik şebekesinin, oluşan ani yükler sebebi ile, yetersiz kalması söz konusu olmakta ve bu ani yüklerin karşılanabilmesi için şehir şebekelerinin buna uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu da yaz ayları dışında şebeke potansiyelinin bir kısmının atıl kalmasına sebep olduğundan ülke ekonomisine ek bir yük getirmektedir.

Enerji maliyetlerindeki artış ve küresel ısınma gibi çevreci kaygılar yenilenebilir ve doğa dostu enerji türlerine olan ilgiyi artırmaktadır. Tüketicilerde oluşan bu eğilim, enerji alanında Ar-Ge çalışmalarının desteklenmesini ve bu sayede de yeni teknolojilerin hayatımıza girmesini gerektirmektedir. Alternatif enerji çeşitlerinden en yaygın olanlarından biri olan güneş enerjisi başlangıçta sıcak su üretmekte kullanılmış, daha sonra güneşten elektrik üreten güneş panelleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Günümüzde güneş enerjisinden bu iki tür de belirli ölçülerde kullanılmaktadır.

Soğutma amaçlı enerji tüketimi ile güneş ışınımının fazla olduğu dönemlerin birbirleriyle çakışması, güneş enerjisinin soğutma sistemlerinde kullanımını ön plana çıkarmıştır. Güneş enerjisinin bu çalışmada ele alacağımız kullanım alanı teorikte 1970'lerde ortaya konulmasına karşın çok yoğun bir kullanım seviyesine ulaşamamış olan soğutma teknolojisidir. Güneş enerjisiyle soğutma teknolojileri üzerine yapılan çalışmalar dünyadaki mevcut enerji sorunları nedeniyle hız kazanmış, ülkemizde de bu teknoloji uygulama alanına sahip olmuştur. (Alternatürk, 2010)

Güneş enerjisiyle soğutmanın temeli, her türlü ısı enerjisini kullanabilen absorpsiyonlu soğutma ilkelerine dayanır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde, buzdolaplarındaki kompresörlerde olduğu gibi gaz sıkıştırılmaz, bunun yerine gaz fazındaki soğutucu akışkanın soğurucu bir sıvıda soğurulması işlemi (absorbe edilmesi) gerçekleştirilir. Birbiri içinde çözünen soğurucu ve soğutucu akışkanın termokimyasal özellikleri göz önüne alınarak, ısı enerjisi verilmek suretiyle soğutucu akışkanın yüksek sıcaklık ve basınçta buharlaştırılması sağlanır. Buhar fazına geçen soğutucu akışkan mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde olduğu gibi çevrime devam eder.

Güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sisteminde de, güneş enerjisi ile ısıtılan sıcak su, sistem elemanlarından kaynatıcıda soğutucu-soğurucu akışkan eriyiğinden soğutucu akışkanı ayırmak için kullanılır. (Atmaca & Yiğit, 2002)

Bu tez çalışmasında, iklimlendirme amacıyla kullanılacak olan ve güneş enerjisi ile çalıştırılan absorpsiyonlu soğutma sisteminin kapasite hesapları yapılarak, gerekli düzlemsel güneş kolektörü yüzey alanı bulunarak sistemin Eskişehir ili için verimliliği incelenecektir.

2 SOĞUTMA SİSTEMLERİ

En yaygın olarak kullanılan ve ticari alanda kendine yer edinmiş soğutma sistemleri mekanik buhar sıkıştırırmalı ve soğurmalı sistemler olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir.

2.1 Mekanik Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Sistemleri

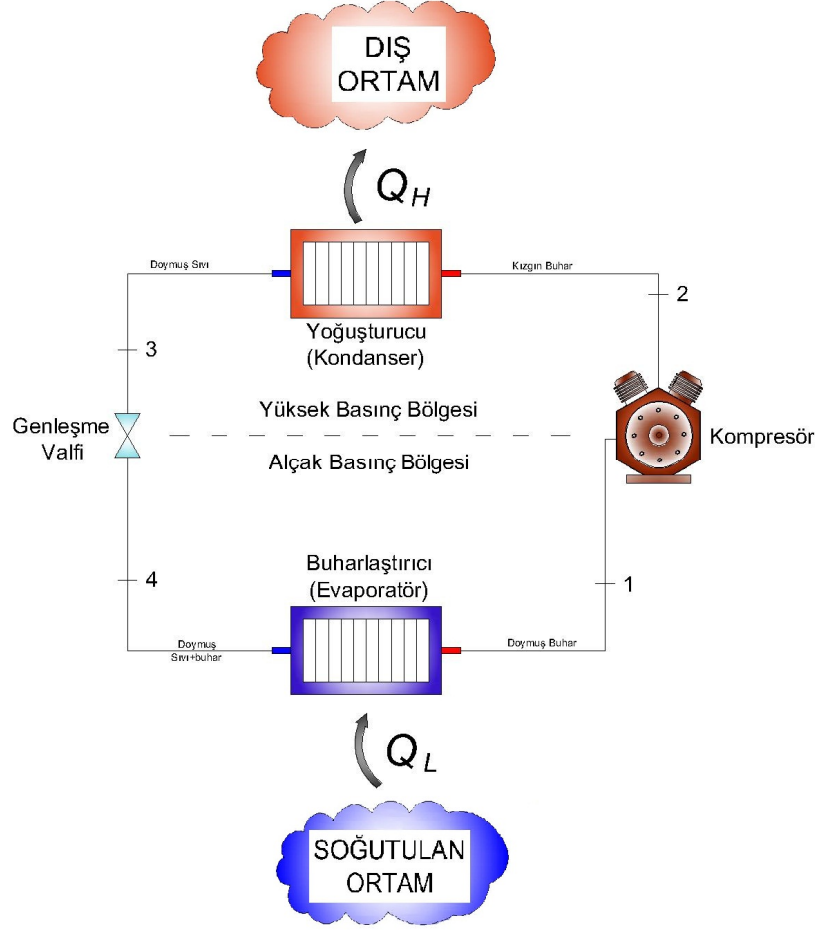
Soğutma sistemleri içerisinde en çok uygulanan mekanik sıkıştırırmalı soğutma çevriminde dört ana eleman bulunmaktadır. Bunlar;

- Soğutucu akışkanın içerisinde geçerken sıvı halden buhar hale geçerek soğutma işlemi gerçekleşen **buharlaştırıcı (evaporatör)**,
- Buharlaştırıcıda buharlaşan alçak basınçtaki soğutucu akışkanı emerek yüksek basınç tarafındaki kondansere basan **kompresör**,
- Soğutucu akışkandaki ısıyı alarak yüksek basınçta soğutucu akışkanı sıvılaştırıran **yoğuşturucu (kondanser)** ve
- Kondanserde yüksek basınçta sıvı hale gelen soğutucu akışkanı alçak basınçtaki evaporatöre püskürten **genleşme vanasıdır**.

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi Şekil 2.1 de gösterilmiştir.

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere sistem alçak basınç ve yüksek basınç olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır (Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., 2000). Bu sistemdeki çevrimin hal değişimi şöyledir.

- 1-2 Kompresörde tersinir adyabatik sıkıştırma
- 2-3 Yoğuşturucuda iş yapan soğutucu akışkandan sabit basınçta çevreye ısı geçişi
- 3-4 Genleşme valfinden adyabatik olarak basıncın düşmesi
- 4-1 Buharlaştırıcıda sıvı fazdaki soğutucu akışkana ısı geçişi (P sabit) (Öztürk & Kılıç, 1998)



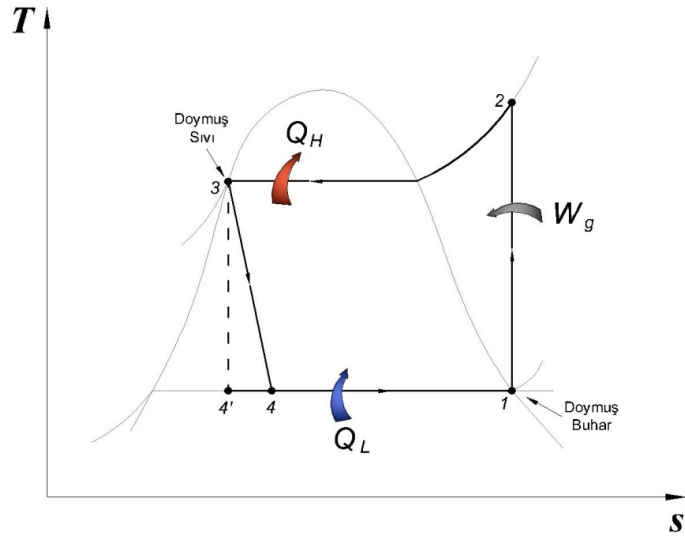
Şekil 2.1: Mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi (Aybers, 1992)

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresörde 1 halinde doymuş buhar olarak girer ve izentropik olarak yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Soğutucu akışkan daha sonra 2 halinde kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girer ve yoğuşturucudan (kondanser) 3 halinde doymuş sıvı olarak ayrılır. Yoğuşma sırasında akışkandan çevreye ısı geçişi olur. Soğutucu akışkanın sıcaklığı 3 halinde de çevre sıcaklığının üzerindedir.

Doymuş sıvı halindeki soğutucu akışkan bir genleşme vanası ya da kılcal borulardan geçirilerek buharlaştırıcı basıncına düşürülür. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı, soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. Soğutucu

akışkan buharlaştırıcıya 4 halinde, kuruluk derecesi düşük doymuş sıvı buhar karışımı olarak girer ve soğutulan ortamdan ısı alarak tümüyle buharlaşır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre girerek çevrimi tamamlar.

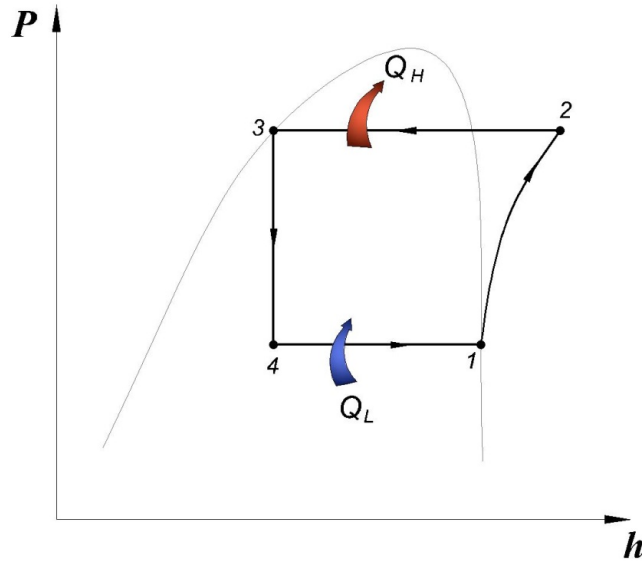
Yukarıda şematik olarak gösterilen mekanik buhar sıkıştırımlı çevrimin T-s diyagramı Şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 İdeal mekanik buhar sıkıştırımlı çevrim T-s diyagramı (Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., 2000)

Şekil 2.2'de gösterilen T-s diyagramında, içten tersinir hal değişimleri için eğri altında kalan alanlar ısı geçişi değerini vermektedir. 4-1 hal değişimi eğrisi altında kalan alan akışkanın buharlaştırıcıda aldığı ısıyı, 2-3 hal değişimi eğrisi altında kalan alan da akışkanın yoğuşturucudan çevreye verdiği ısıyı göstermektedir. Diğer ideal çevrimlerden farklı olarak, ideal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi içten tersinir bir çevrim değildir. Çünkü çevrimde kullanılan kısılma vanası tersinmez bir hal değişimi içermektedir. (Akbulut & Kıncay, 2006)

Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimlerinin çözümlemesinde kullanılan bir başka diyagram da Şekil 2.3'te gösterilen P-h diyagramıdır. Bu diyagramda dört hal değişiminden üçü birer doğru olarak görünmektedir. Ayrıca buharlaştırıcıda ve yoğuşturucuda gerçekleşen ısı geçişleri bu hal değişimlerini gösteren doğruların uzunluklarıyla orantılıdır.



Şekil 2.3 İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin P-h diyagramı (Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., 2000)

Buhar sıkıştırırmalı bir soğutma çevriminde içinde sürekli akışın olduğu elemanlar yer alır. Bu nedenle çevrimi oluşturan dört hal değişimi de sürekli akışlı açık sistem olarak ele alınabilir. Soğutucu akışkanın kinetik ve potansiyel enerji değişimleri, iş ve ısı geçişi terimlerine oranla küçük olduğu için ihmal edilebilir. Bu durumda, sürekli akışlı açık sistemin enerji korunumu denklemi birim akışkan kütlesi için ifade edilirse;

$$q - w = \Delta h \quad (2.1)$$

$$q - w = h_c - h_g \quad (2.2)$$

Yoğuşturucu ve buharlaştırıcıda iş etkileşimi yoktur. Kompresör adyabatik kabul edilebilir. Bu durumda buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine göre çalışan bir soğutma makinesi ve ısı pompasının tesir (etkinlik) katsayıları aşağıdaki gibi yazılır:

$$STK = \frac{q_L}{w_{net,g}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.3)$$

$$ITK = \frac{q_H}{w_{net,g}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (2.4)$$

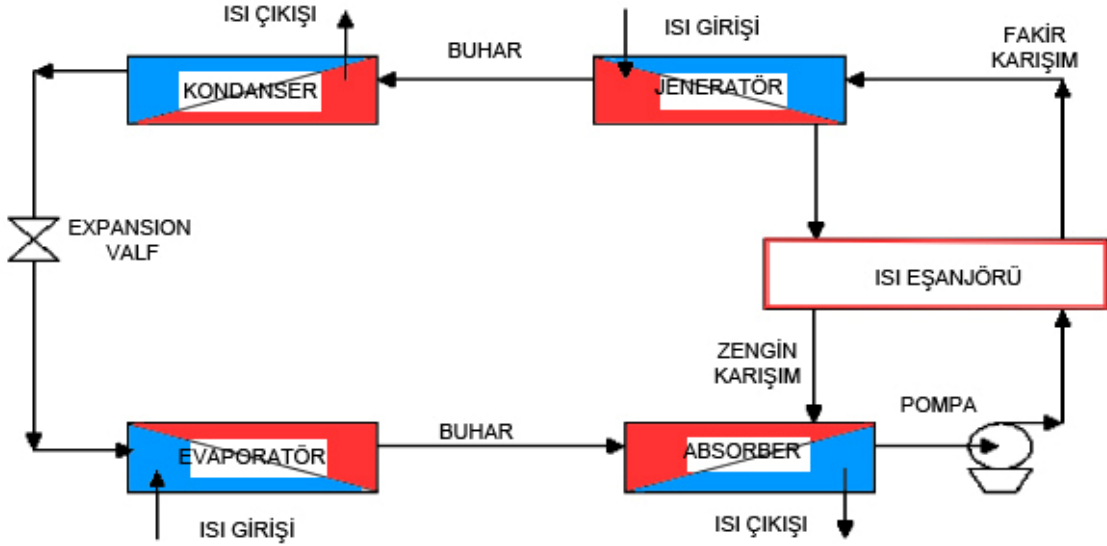
İdeal çevrimde, h_1 buharlaştırıcı basıncında doymuş buharın entalpisi, h_3 ise Yoğuşturucu basıncında doymuş sıvının entalpisi olur. (Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., 2000)

2.2 Soğurmalı Soğutma Sistemleri

Soğurmalı soğutma makinaları 1860 yılında Fransa'da Fredinand Carrê tarafından bulunmuştur (Aybers, 1992). Bu sistemde temel prensip bir katı veya sıvının düşük basınç ve düşük sıcaklıkta bir gazı emmesi (absorbe etmesi), yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta serbest bırakmasıdır. Soğurmalı soğutma sistemleri absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma olmak üzere iki başlık altında incelenebilir.

2.2.1 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi

Genel olarak bir gazın sıvı tarafından emilmesi işlemine “absorpsiyon” denir. Sıcaklığı 100 °C ile 200°C arasında olan ucuz bir ısı kaynağı bulunduğu zaman ekonomik açıdan kazançlı olabilecek bir soğutma yöntemidir. Bu sistemler buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine çok benzer fakat kompresördeki sıkıştırma işlemi karmaşık bir soğurma mekanizması ile sağlanmaktadır. Bu soğurma mekanizması absorber ve jeneratör adı verilen iki ana elemandan oluşmaktadır.



Şekil 2.4 Absorpsiyonlu soğutma sisteminin şematik gösterimi

Absorpsiyonlu soğutma sisteminde soğutucu akışkanın bir ikinci akışkan içinde soğurulması söz konusudur. Absorpsiyonlu sistemlerde genellikle su, amonyak, glikol, ağır yağlar kullanılır. Ancak bu sistemlerde en çok kullanılan akışkan çifti amonyak (NH_3) ve su (H_2O) karışımıdır. Bunun nedeni suyun, düşük basınç ve sıcaklıkta amonyak gazını çok iyi absorbe etme yeteneğine sahip olmasıdır. Örneğin su;

20 °C'de kendi hacminin 700 katı,

0 °C'de kendi hacminin 1050 katı

amonyak absorbe edebilirken 70 °C'de hiç absorbe etmez. (Pıhtılı, Kazım; 1989) Amonyak su soğutma makinesinin patenti ilk olarak Fredinand Carré tarafından alınmıştır. Şekil 2.4 incelendiğinde, bu sistemin buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemine çok benzediği, kompresörün yerini karmaşık bir soğurma mekanizmasının aldığı görülür. Soğurma mekanizması içinde absorber (soğurucu), pompa, kaynatıcı (jeneratör), ısı değiştirici olmak üzere 4 ana eleman vardır. Bu mekanizmanın tek amacı soğutucu akışkanın basıncının artırılmasıdır. Soğutucu akışkan basıncı yükseltildikten sonra yoğuşturucuya gönderilir. Burada soğutularak yoğuşturulan soğutucu akışkan

genleşme vanasında buharlaştırıcı basıncına düşürülerek, buharlaştırıcıdan geçerken ortamdan ısı çekerek soğutma işini gerçekleştirir.

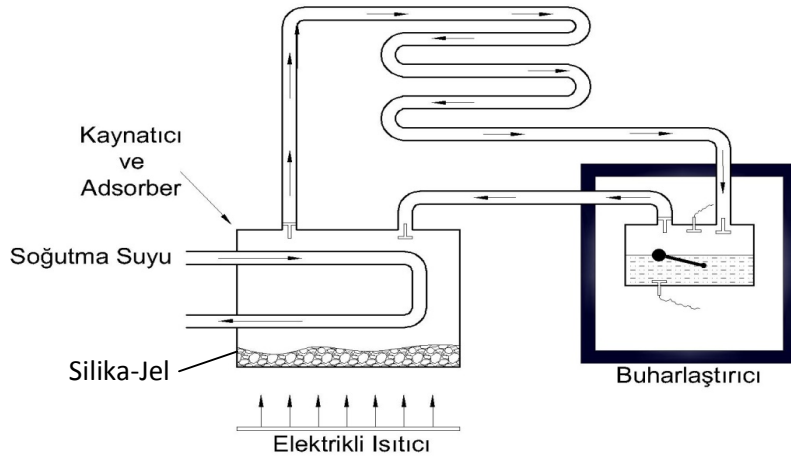
Soğurmalı soğutma sisteminin etkinlik katsayısı aşağıda tanımlanmıştır:

$$STK = \frac{\text{elde edilmek istenen}}{\text{harcanan}} = \frac{Q_L}{Q_{\text{ısıtıcı}} + W_{\text{pompa,g}}} \cong \frac{Q_L}{Q_{\text{ısıtıcı}}} \quad (2.5)$$

Soğurmalı bir sistemin sahip olabileceği en büyük etkinlik katsayısı, çevrimin tümünden tersinir olması durumunda sağlanır (Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., 2000).

2.2.2 Adsorpsiyonlu Soğutma Sistemi

Aktif karbon, CaCl_2 , silika-jel gibi maddelerin gözenekleri büyük miktarda gaz emerler. Yani adsorpsiyonlu soğutma sistemi düşük sıcaklık ve basınçta katı bir maddenin bir gazı emme prensibine dayanmaktadır.



Şekil 2.5 Adsorpsiyonlu soğutma sistemi (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)

Katı maddelerin bu özelliklerinden yararlanılarak adsorbsiyonlu soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Katı madde soğurucu olarak kullanılmaktadır. Bu sistemin tek dezavantajı büyük hacimlere ihtiyaç duymasındır. Sistem, bir kaynatıcı (aynı zamanda adsorber), bir yoğuşturucu ve bir buharlaştırıcıdan oluşmaktadır. Bu sistemde kaynatıcı içerisinde su yerine amonyağın emilmesini sağlayacak silika-jel bulunmaktadır. Kaynatıcı içerisine elektrikli ısıtıcılar ve soğutma serpantinleri yerleştirilmiştir. Kaynatıcının ısıtılması ile silika-jel ısınır ve emmiş olduğu amonyak buharlaşarak silika-jelden ayrılır. Belirli bir basınca ulaştığında çıkış valfini açarak yoğuşturucuya ulaşır. Burada çevreye ısı vererek sıvı hale gelen amonyak buharlaştırıcıya akar. Bir süre sonra buharlaştırıcı içerisindeki şamandıra yükselerek elektrikli ısıtıcı devresini kapatır. Soğutma suyu devresini açar ve ısıtıcı soğumaya başlar. Ortamdan ısı çekerek buharlaşan amonyak elektrikli ısıtıcı kapandığında adsorber görevini üstlenen kaynatıcıdaki silika-jel tarafından emilmeye başlanır. Soğuyan kaynatıcı içindeki basınç düşümü sayesinde amonyağın buharlaşması kolaylaşmış olacaktır. Oluşan amonyak buharı emme valfini açarak tekrar adsorbere döner. Bir süre sonra buharlaştırıcıda sıvı seviyesi düşer ve şamandıra, soğutma suyu vanasını kapatıp ısıtıcıyı devreye sokar. Bu şekilde çevrim devam eder. (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)

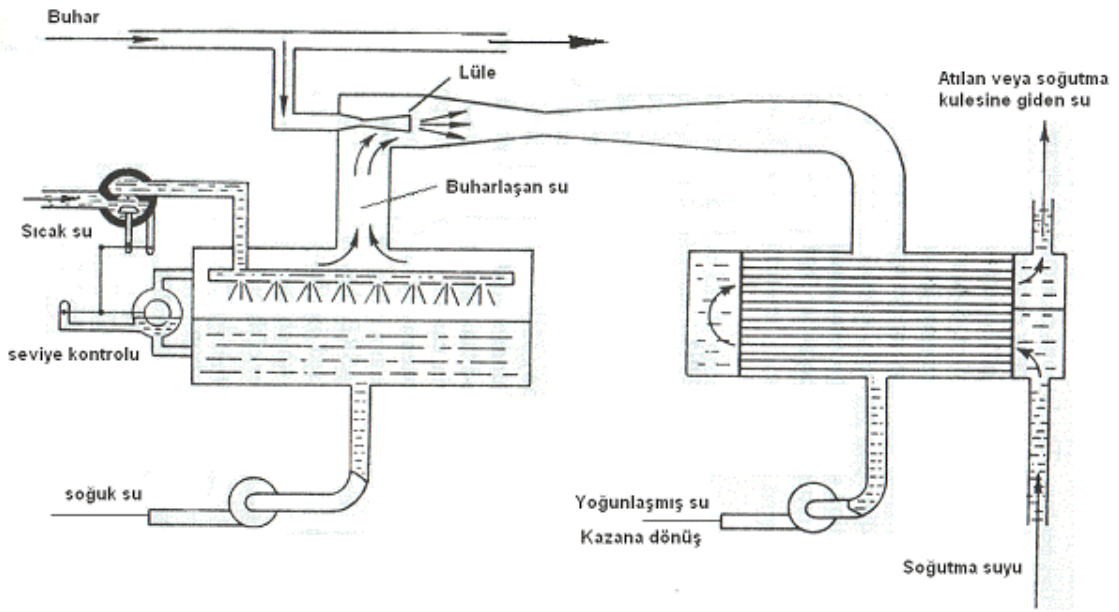
2.3 Diğer Soğutma Sistemleri

Yukarıda açıklanan mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri ile soğurmalı soğutma çevrimleri dışında kalan ancak ticari hayatta bu sistemler kadar işlerlik kazanamayan ve üzerinde çalışmaların devam ettiği diğer soğutma yöntemleri şunlardır:

2.3.1 Buhar-Jet (Ejektör) Soğutma Sistemi

Esas prensip yönünden bir kompresyon çevrimi olan bu çevrimde, evaporatörde buharlaşan soğutucu akışkan buharı bir ejektör ile sürüklenerek buharlaşma basıncının muhafaza ve kontrolü sağlanır. Böyle bir sistemde, ejektördeki sürüklenme etkisini

meydana getiren akışkan ile evaporatörde buharlaşan ve sürüklenen buhar karışmaktadır. Bu nedenle her ikisinin de aynı maddeden olması sistem dizaynını oldukça basitleştirecektir. Sürükleyici akışkanı buhar ve soğutkan maddesi su olan uygulama, bu çevrimde en çok uygulanan akışkan maddelerdir ve “Buhar-Jet Soğutma Sistemi” adı ile anılır. Şekil 2.6 da şematik olarak gösterilmiştir (Özkoç, Nuri, 2004).

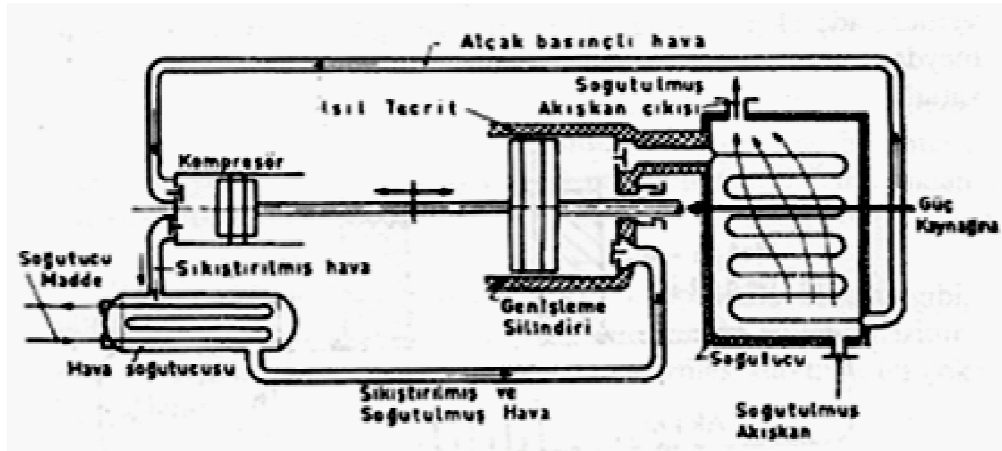


Şekil 2.6 Buhar-Jet (Ejektör) soğutma sistemi (Özkoç, Nuri, 2004)

2.3.2 Hava Soğutma Sistemi

Diğer soğutma çevrimlerinden farklı olarak hava soğutma çevriminde, soğutucu akışkan tüm sistemlerde daima gaz halinde kalır ve hiç sıvılaşmaz.

İdeal hava soğutma çevriminin en basit şekli esas olarak Joule Brayton çevriminin tersi olan çevrimdir. Hava soğutma çevrimi "açık sistem" veya "kapalı sistem" prensibine göre çalışır.



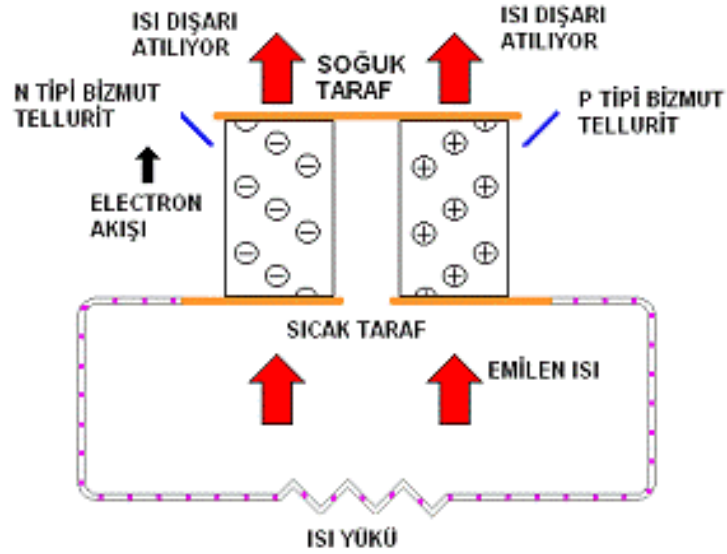
Şekil 2.7 Hava soğutma sistem şeması (Özko, Nuri, 2004)

Burada genişleme silindiri hem kısılma vanası görevini hem de kompresör için sıkıştırma gücünün bir kısmını temin etmekte ve böylece güç gereksinimi azalmaktadır. Hava soğutma çeviriminin yukarıdaki şekliyle uygulanması, düşük verim elde edildiğinden artık kullanılmamaktadır (Özko, Nuri, 2004).

2.3.3 Termoelektrik Soğutma

Birbirinden farklı malzemenen yapılmış iki teli uçlarından birbirine bağlar ve devreden elektrik akımı geçirirsek bir ucun ısınırken diğer ucun soğuduğunu görürüz. Eğer ısınan taraftaki ısıyı devreden atarsak, soğuyan taraftan sürekli olarak ısı çekebiliriz.

İlk defa Thomas Seebeck tarafından bulunan bu etki soğutma makinesi olarak kullanılabilir. Soğutma makinesi olarak kullanım ilk defa peltier tarafından gerçekleştirilmiştir ve Peltier etkisi olarak anılır. Günümüzde bilhassa küçük elektrik devrelerinin soğutulmasında pratik olarak kullanılan bu sistem, etkinlik katsayısı standart soğutma makinesinin verimine henüz ulaşmadığı için büyük sistemlerde pek kullanılmamaktadır.



Şekil 2.8 Seebeck-Peltier Etkisi ile termoelektrik soğutma şeması (Özkoç, Nuri, 2004)

Bu sistemlerin tercih nedeni küçük boyutlarda kullanılabilmesi, sessiz çalışması ve güvenilirliğidir. Peltier sistemlerinin etkinlik katsayısı değerlerini arttırmak için yeni metal çiftleri üzerinde çalışmalar sürmektedir, bu çalışmalar sonucunda gelecekte standart soğutma çevriminin üzerinde verimlilik değerlerinin yakalanması mümkün olabilecektir. Şekil 2.8’de elektronik devreleri soğutmakta kullanılan bir seebeck-peltier sistemi şematik olarak gösterilmiştir. (Çoban, M. Turhan, 2011)

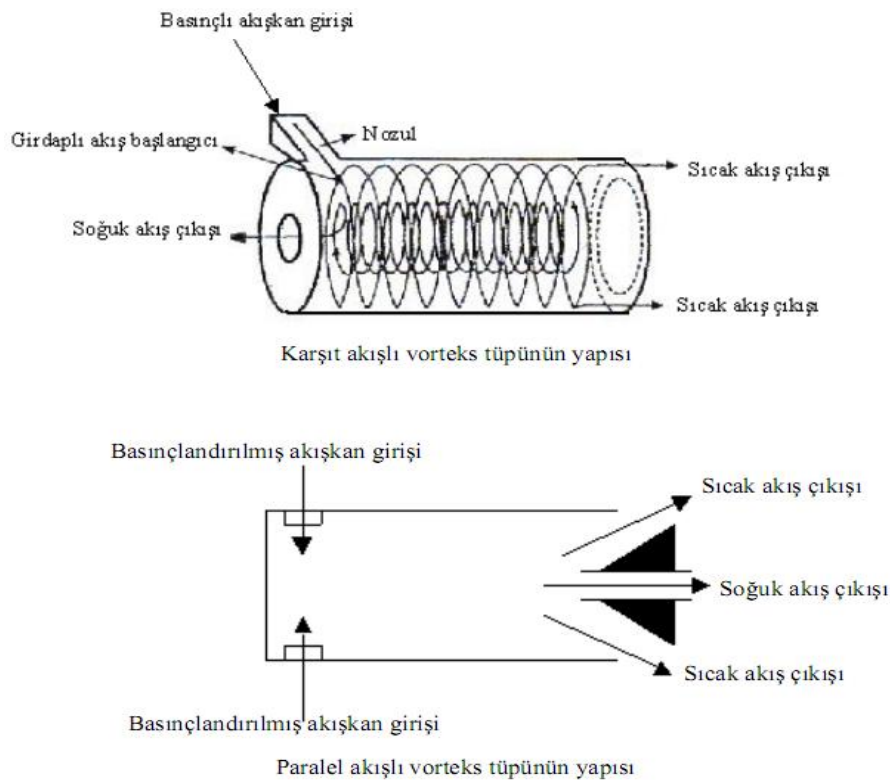
Termo-elektrik soğutma için günümüzde kullanılan metal çiftler negatif kutup için bizmut, telleryum ve selenyumun alaşımlarıdır. Pozitif kutup için bizmut, telleryum ve antimuan alaşımlarıdır. (Özkoç, Nuri, 2004)

2.3.4 Vorteks Borulu Soğutma Sistemleri

Vorteks borusu 1930 yılında Fransız fizikçi Georges Ranque tarafından bulunmuştur. Temel çalışma prensibini şöyle özetleyebiliriz: Belli bir eksen etrafında

yüksek hızla dönen akışkan (genellikle hava kullanılır) bu dönüş esnasında biri soğuk biri sıcak olmak üzere iki ayrı dönüş hareketine ayrışır.

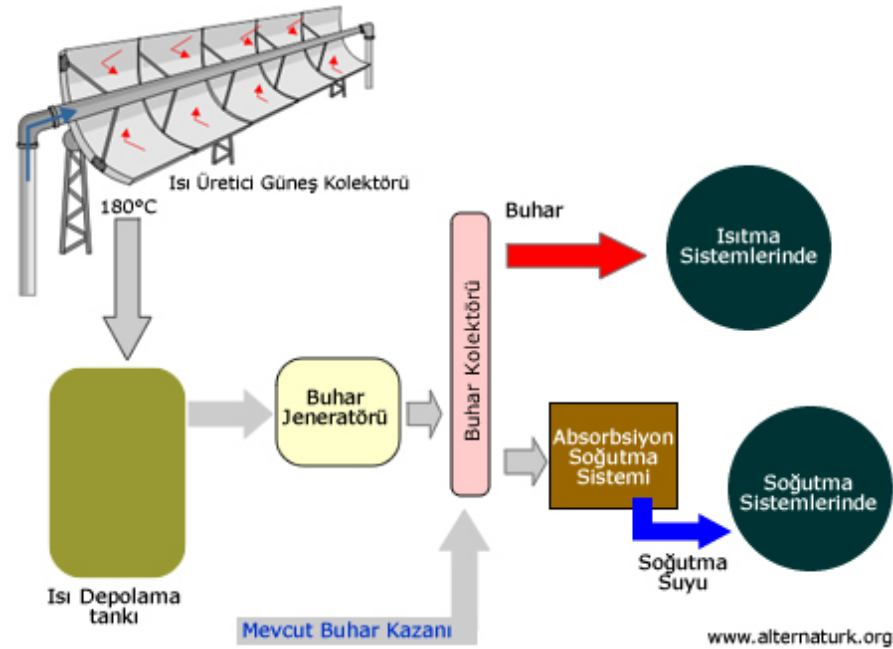
Basınçlı hava silindir şeklindeki boruya bir radyal dönüş sağlayacak şekilde giriş yapar. Merkezkaç kuvvetiyle borunun dış yüzeyine doğru itilen hava 1.000.000 devir/dakikayı bulan hızlarda tayfundakine benzer bir yapı içinde dönerek yukarı doğru akar. Borunun sonunda (üst ucunda) sıcak havanın bir kısmı iğne vanadan dışarı atılır. Geri kalan hava giriş havasının içinde daha küçük çaplı ve daha yavaş bir vorteks olarak aşağı doğru akar. İç akıştaki yavaş dönen havanın ısı dış tarafta hızlı dönen hava tarafından emilerek iç havanın soğuması sağlanır. Soğuyan içteki hava soğuk hava çıkış bağlantısından çekilir. (Çoban, M. Turhan;, 2011)



Şekil 2.9 Paralel akışlı ve karşıt akışlı vorteks tüpü (Özkol, Nuri, 2004)

3 GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Isı kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanan absorpsiyonlu sistemler, hem sistem verimlilikleri, hem de işletme giderleri açısından sağladığı faydalar nedeniyle, alternatif sistemlerden çok daha fazla umut vaat etmektedir. Ayrıca ozon tabakasına zarar verme ve küresel ısınma açısından ekolojik sisteme zarar vermeyen çevre dostu sistemlerdir (Kent & Kaptan, 13-15 Mayıs 2009).



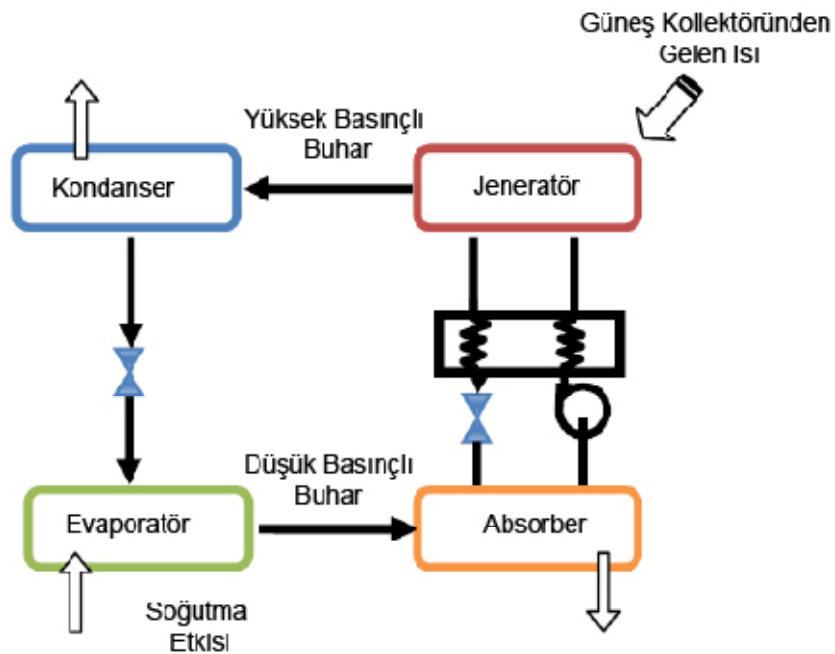
Şekil 3.1 Güneş enerjisiyle absorpsiyonlu soğutmanın şematik gösterimi. (Alternatürk, 2010)

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi parabolik oluklu kolektör kullanarak 180~200 °C civarında sıcaklık üretmek mümkündür. Üretilen sıcak su ile ısıtma amaçlı buhar elde edilebileceği gibi, bu buharın absorpsiyon aşamalarından geçerek soğutma amaçlı da kullanılması mümkündür. Güneş enerjisiyle soğutma sistemlerinde gece güneşlenme

olmayacağı için soğuk su ve sıcak su depolarının bulunması gerekmektedir. Bu soğutma modelinin çevreye uyumlu ve doğayı kirletme miktarının az olması nedeniyle oldukça cazip değerlendirilmektedir. (Alternatürk, 2010)

3.1 Güneş Enerjili Absorpsiyonlu Soğutma Makinelerinin Tanımı

Bir önceki bölümde kısaca değindiğimiz absorpsiyonlu soğutmanın çalışma prensibi mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerine oldukça benzerdir. Burada da soğutma yükü soğutucu akışkanın buharlaştırıcıda buharlaşmasıyla karşılanır. Ancak, kompresyon işlemi mekanik bir kompresör yerine, fiziko-kimyasal bir işlem olan, jeneratör adı verilen devre elemanına ısı enerjisi verilerek, içerisinde absorbent tarafından yutulmuş bulunan soğutucu akışkanın yüksek basınçlı buhar olarak absorbentten ayrılmasıyla sağlanır.



Şekil 3.2 Güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma (Praene, Bastide, Lucas, Garde, & Boyer, 2007)

Absorpsiyonlu soğutma çevriminde iki farklı akışkan dolaşır. Bunlardan biri soğutucu akışkan, diğeri yutucu (absorbent ya da soğurucu) akışkandır. Absorbent, çevrimin belirli bir kısmında soğutucu akışkanı taşır. Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, absorpsiyonlu soğutma sistemini meydana getiren sistem elemanları, Jeneratör (Kaynaticı), Yoğuşturucu (Kondanser), Buharlaştırıcı (Evaporatör), Absorber (Soğurucu), Eriyik Isı Değiştiricisi olarak tanımlanır. Absorbent ya da soğurucu akışkan ise sadece Jeneratör (kaynaticı), absorber ve eriyik eşanjörü arasında dolaşır. (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)

Absorpsiyonlu soğutma çevrimleri iki akışkan çiftiyle çalışan sistemlerdir. Kaynaticıda buharlaşarak soğutma işlemini yapan soğutucu akışkan ve absorberde soğurma işlemini yapan absorbentten oluşmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde en çok kullanılan akışkan çiftleri çizelge 3.1’de gösterilmiştir. (Akdemir & Güngör, 2001)

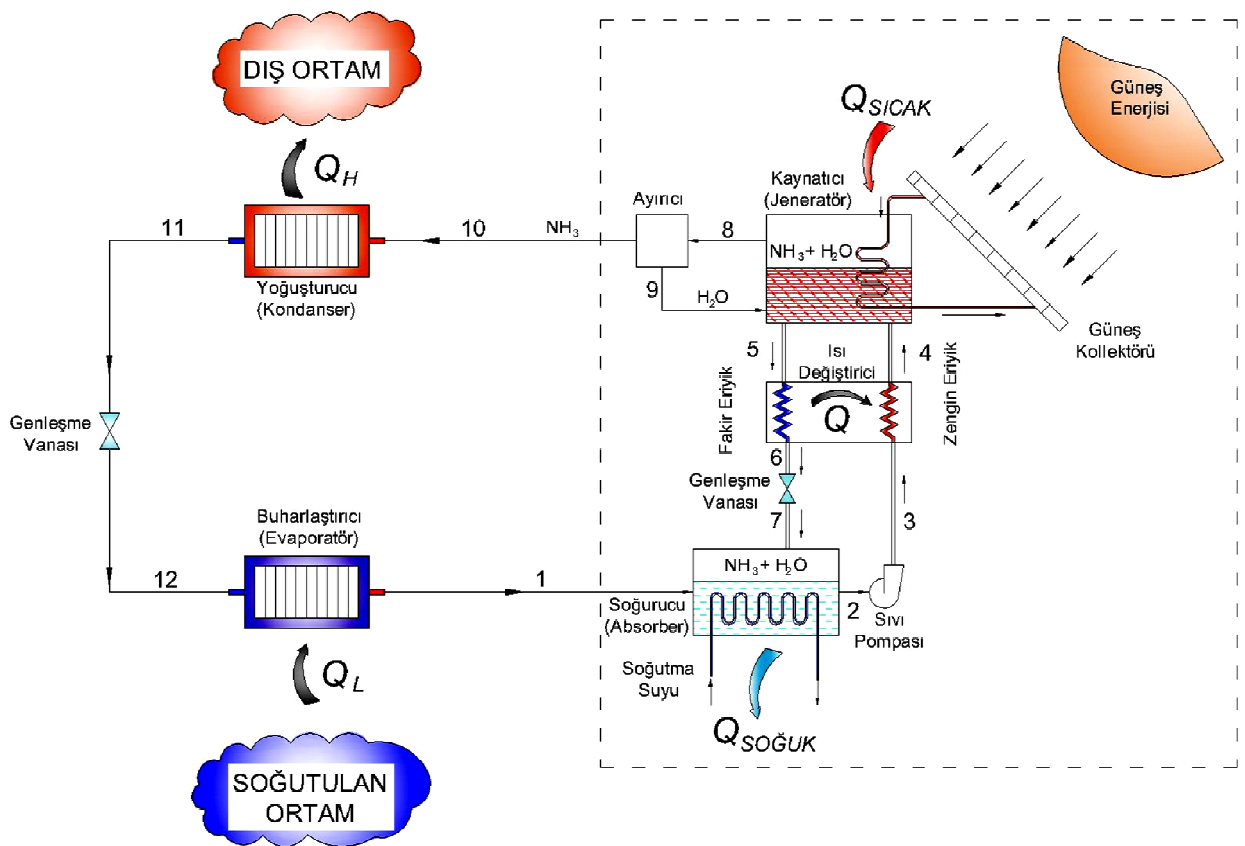
Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinde, yüksek basınçtaki soğutucu akışkan buharı, yoğuşturucuda sıvı faza dönüştürüldükten sonra düşük buharlaştırıcı basıncına kısılır. Buharlaştırıcı vasıtasıyla ortamdan ısı çekilerek soğutma yükü sağlanır. H_2O -LiBr akışkan çiftli sistemlerde soğurucuda (LiBr) herhangi bir buharlaşma olmadığından basit bir distilasyon yeterli olmaktadır; fakat NH_3 - H_2O akışkan çiftli sistemlerde soğurucu akışkanın(H_2O) buharlaşabilen bir madde olması daha kompleks bir distilasyon ünitesinin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, soğutucu akışkan buharının tam olarak ayrılabilmesi için bu sistemlerde zenginleştirme kolonu (ayırıcı) kullanılmaktadır. Bu ayırıcıda kaynaticının (jeneratör) üstüyle direkt temaslı üst üste akışkan havuzlarından oluşmuş analizör denilen bir kısım bulunur. Amonyakça zengin eriyik bu tepsilerden aşağı doğru taşarak süzülürken jeneratörden yükselen buharı soğutur. Böylece soğutucu akışkanla (NH_3) birlikte buharlaşan absorbentin (H_2O) yoğuşması sağlanır. NH_3 - H_2O ’lu sistemlerde zenginleştirme kolonunun kullanılması zorunludur çünkü amonyakla beraber suyun buharlaştırıcıya girmesi suyun donmasını ve sistemde istenmeyen durumların oluşmasına neden olur. (Aybers, 1992)

Çizelge 3.1 Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan akışkan çiftleri (**Akdemir & Güngör, 2001**)

Soğutucu Akışkan	Absorbent (Soğurucu) Akışkan
Amonyak (NH ₃)	Su (H ₂ O)
Amonyak (NH ₃)	Kalsiyumklorür (CaCl ₂)
Amonyak (NH ₃)	Stronsiyumklorür (SrCl ₂)
Amonyak (NH ₃)	Heptanol
Amonyak (NH ₃)	Trietanol amin
Amonyak (NH ₃)	Gliserol
Amonyak (NH ₃)	Silikon yağ
Amonyak (NH ₃)	Lityum nitrat (LiNO ₃)
Amonyak (NH ₃)	Lityum bromid (LiBr ₂)
Amonyak (NH ₃)	Çinko bromid (ZnBr)
Amonyak (NH ₃)	Sodyumtiosiyanat (NaSCN)
Amonyak (NH ₃)	Lityumtiosiyanat (LiSCN)
Amonyak (NH ₃)	N Metil 2 pirrolidon (NMP)
Amonyak (NH ₃)	Metil ε kaprolactan (MCL)
Amonyak (NH ₃)	Dimetil metil fosfonat (DMMP)
Amonyak (NH ₃)	Tetraetilen glikol dimetil eter (DMETEG)
Amonyak (NH ₃)	Dimetil formamid (DMF)
Su (H ₂ O)	Lityum bromür (LiBr)
Metil amin	Su (H ₂ O)
Metil klorid	Tetraetil glikol
R 12	Dimetilasitamid
R 12	Siklohexanon
R 21	Dimetil etil ester
R 22	Dimetil formamid
R 22	Siklohexanon
R 22	Dimetil asit amid

3.2 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Sistem Elemanlarının Tanımı

Absorpsiyonlu soğutmanın temel ilkeleri Şekil 3.3'te gösterilen $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ sistemi üzerinde açıklanabilir. Şekil 3.3'te kesikli çizgi içerisinde gösterilen soğurma mekanizmasının soğutucu akışkan olan amonyağın basıncının yükseltilmesi için bir araya getirildiği gözlenmektedir.

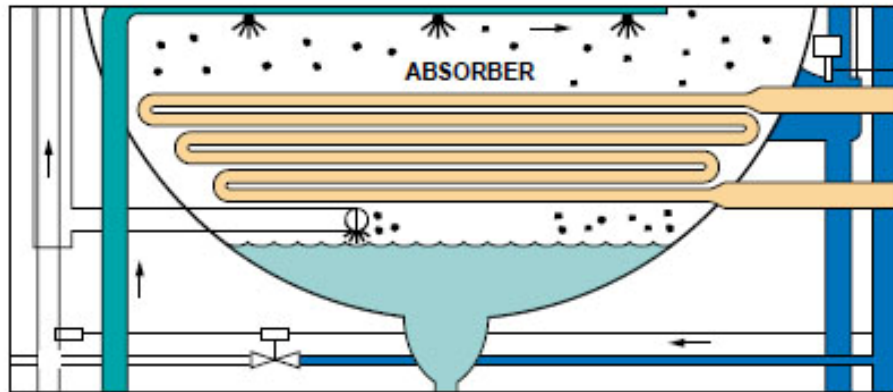


Şekil 3.3 Amonyak-Su soğurmalı güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi şeması

Sistem bileşenleri şöyle sıralanabilir:

- Soğurucu(Absorber),
- Pompa,
- Kaynatıcı (Jeneratör),
- Isı Değiştirici,
- Genleşme Vanası
- Ayırıcı (Zenginleştirme kolonu)
- Yoğuşturucu (Kondanser)
- Genleşme Vanası
- Buharlaştırıcı (Evaporatör)

3.2.1 Soğurucu (Absorber)



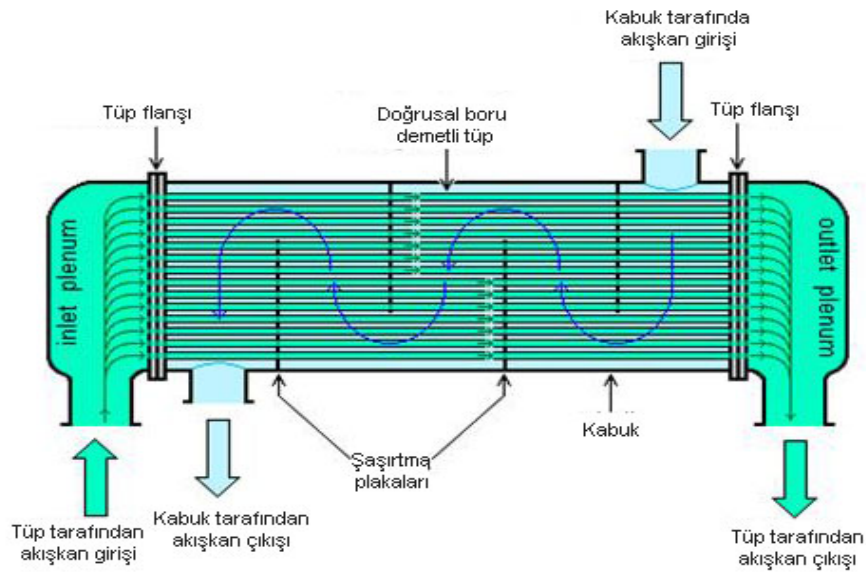
Şekil 3.4 Soğurucunun (Absorber) şematik gösterimi (York, 2012)

Absorpsiyonlu soğutma sisteminde bulunan soğurucu (absorber), şematik olarak Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, üreteçten çıkan amonyakça fakir eriyik (m_7) absorbere geri dönerken; buharlaştırıcıda ısı çekerek buharlaşan soğutucu akışkan olan amonyak buharı, absorberde eriyik konsantrasyonu ve sıcaklık faktörünün

etkisi ile soğurular. Soğurma olayının neticesinde ortaya çıkan soğurma (çözülme) entalpisinin ($Q_{SOĞUK}$) uzaklaştırılması gereklidir. Absorberde bulunan amonyakça fakir eriyiğin, buharlaştırıcıdan çıkan amonyak buharını sürekli olarak soğurmasıyla, buharlaştırıcı basıncının yükselmesi önlenir. Amonyak buharının su içerisinde absorbe edilmesiyle çözeltideki amonyak konsantrasyonu artar ve akışkan çifti absorber sıcaklık ve basıncında, absorberden doymun halde çıkar. (Eicker, 2003)

3.2.2 Isı Değişiricisi

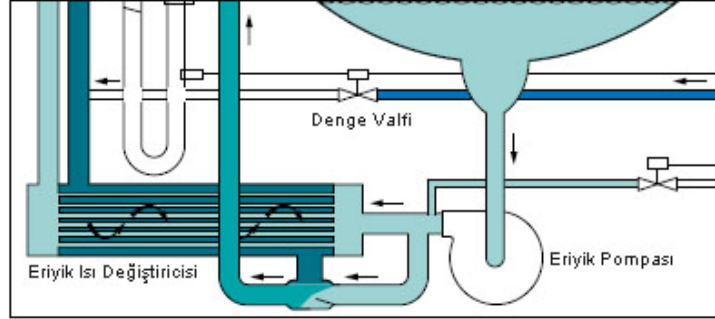
Isı değiştiricisinde, kaynatıcıdan gelen amonyakça fakir eriyiğin ısısı, absorberden çıkıp bir pompa yardımıyla kaynatıcıya gönderilen amonyakça zengin eriyiğe aktarılır.



Şekil 3.5 Tek Geçişli Isı Değiştiricisinin şematik gösterimi (wikipedia, 2012)

Bu sayede absorbere gönderilen amonyakça fakir eriyiğin absorpsiyon için gerekli olan düşük sıcaklığın sağlanmasına yardımcı olması sağlanırken, kaynatıcıya gönderilen zengin eriyiğin de kaynatıcıdaki buharlaşma ısısına katkı sağlanarak çift yönlü fayda oluşur (wikipedia, 2012).

3.2.3 Eriyik Pompası

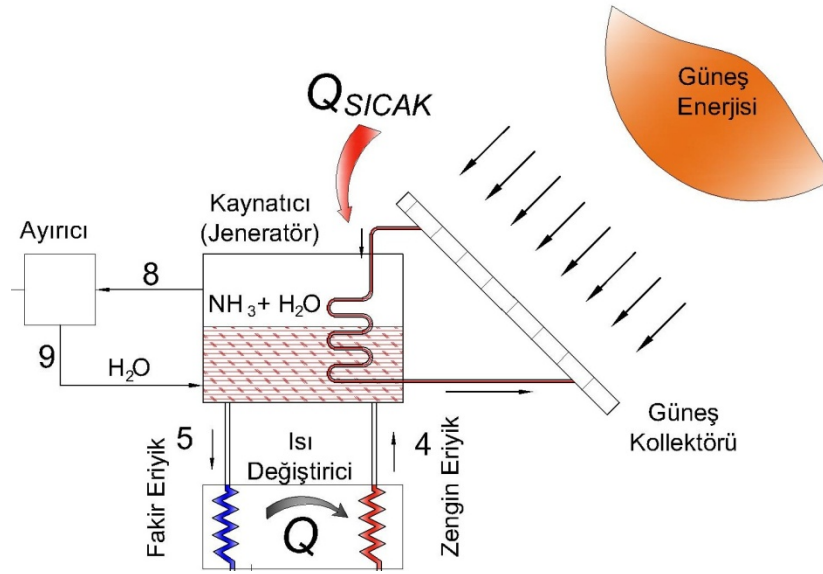


Şekil 3.6 Eriyik pompası (York, 2012)

Absorberdeki amonyakça zengin eriyiğin sırasıyla ısı değiştiricisinden geçerek kaynatıcıya gönderilmesi amacıyla sistemde bulunması gereken eriyik pompası güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde dışarıdan elektrik enerjisi gerektiren tek bileşendir.

3.2.4 Kaynatıcı (Jeneratör)

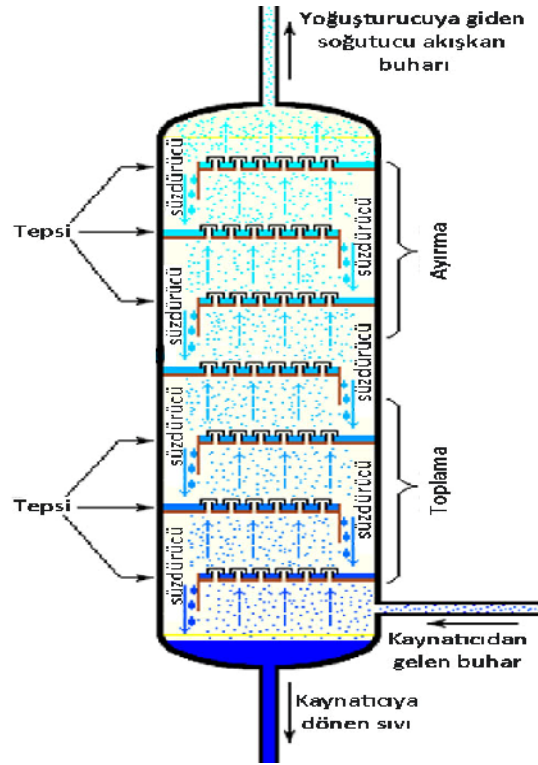
Absorpsiyonlu soğutma sistemlerindeki Jeneratör (Kaynatıcı), mekanik buhar sıkıştırıcı soğutma çevrimlerindeki kompresör gibi soğutucu akışkanın basıncının yükseltildiği bileşendir. Absorberden dönen amonyakça zengin olan eriyik kaynatıcıya gönderilir. Burada ısı enerjisi verilerek absorber içerisinde soğurulan soğutucu akışkanın yüksek basınç ve sıcaklıkta serbest kalması sağlanır. Jeneratörde (Kaynatıcı) yüksek basınç ve sıcaklığa erişen soğutucu akışkan buradan ayırıcıya gönderilerek içerisindeki su moleküllerinden ayrılarak kondansere ulaşır.



Şekil 3.7 Kaynatıcı (Jeneratör)

3.2.5 Ayırıcı

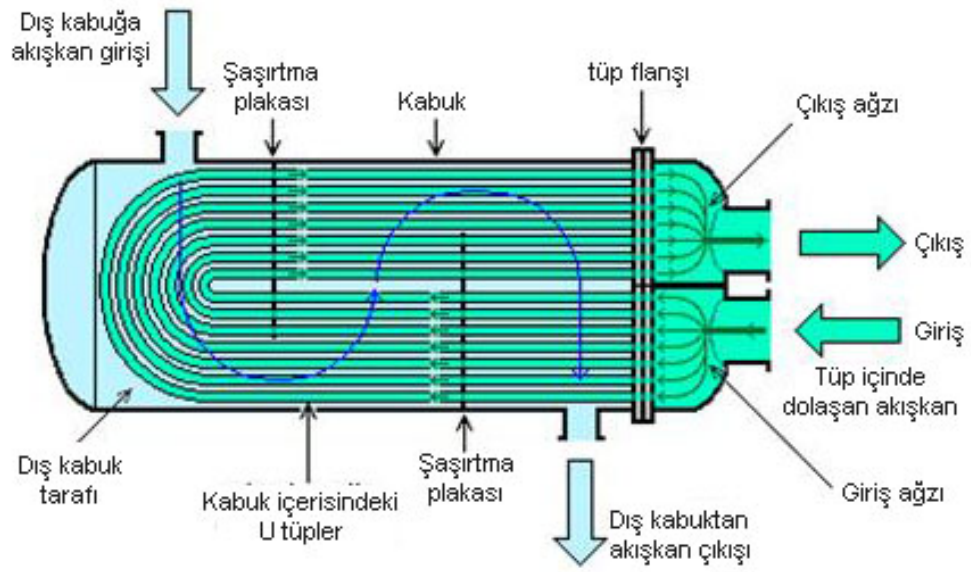
Ayırıcı, soğurucu olarak su (H_2O) kullanılan absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde bulunması gereken bir bileşendir. Kaynatıcıda (Jeneratör), soğutucu akışkanla birlikte su moleküllerinin de buharlaşmasından dolayı böyle bir komponentin geliştirilmesi gereği hasıl olmuştur. Ayırıcıda, soğutucu akışkanla birlikte buharlaşan soğurucu(absorbent) buharının yoğuşarak jeneratöre geri dönmesi sağlanır. Böylece, su buharının sistemde donma olayı meydana getirmesinin önüne geçilmiş olur. Bu işlemin adı literatürde “Zenginleştirme Kolonu” olarak da karşımıza çıkabilmektedir.



Şekil 3.8 Ayrılcı (wikipedia, 2012)

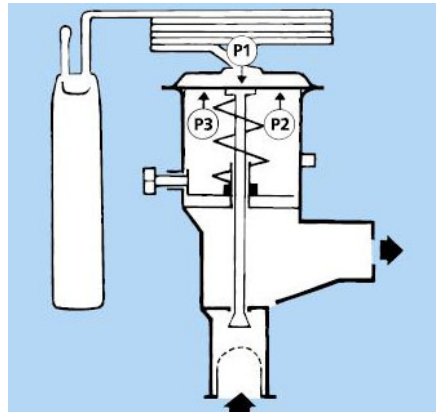
3.2.6 Yoğuşturucu (Kondanser)

Kondanser (Yoğuşturucu), yüksek basınç ve sıcaklıkta jeneratörden çıkan soğutucu akışkan buharının ısının, basıncın sabit kalması koşuluyla alınarak sıvı faza geçtiği sistem bileşenidir. Şekil 3.9'da olduğu gibi su soğutmalı ya da hava soğutmalı olarak kullanılabilir.



Şekil 3.9 Su soğutmalı kondanser (Yoğuşturucu) şematik görünüm (wikipedia, 2012)

3.2.7 Genleşme Vanası



Şekil 3.10 Genleşme Vanası (Danfoss, 2012)

Termostatik genleşme vanaları 3 temel basınç değeri üzerinden tanımlanır. Şekil 3.10'da görülen P1, P2 ve P3 basınçları;

P1: Genleşme vanasını açık konuma getirme doğrultusunda, evaporatör çıkışına bağlanan sıcaklık sensöründen aldığı değere göre çalışır.

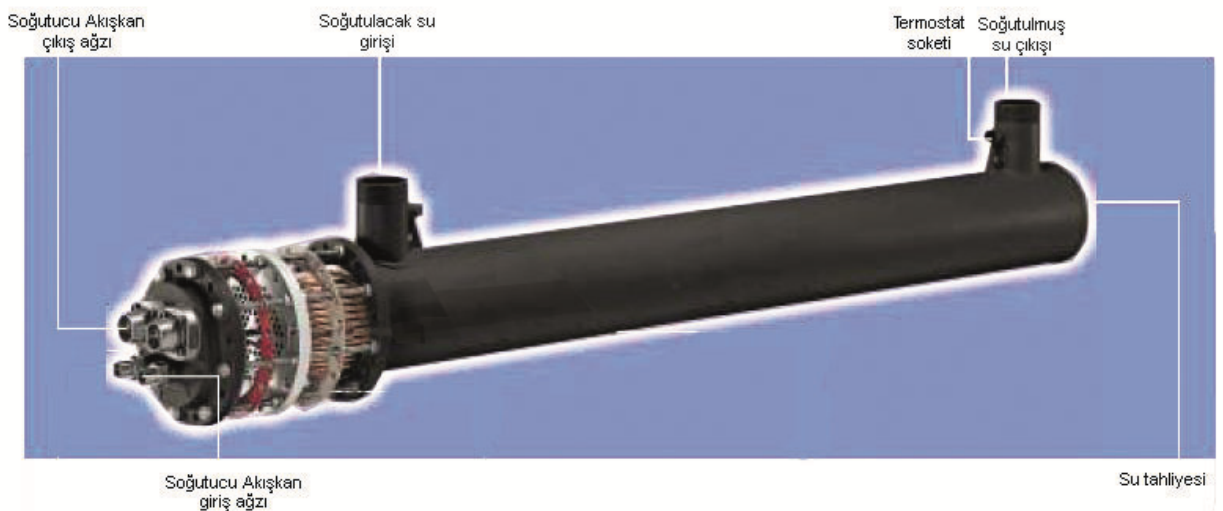
P2: Buharlaşma basıncında valfi kapama doğrultusunda çalışır.

P3: Valfi kapama doğrultusunda çalışan yay basıncıdır. (Danfoss, 2012)

Yoğuşturucudan (Kondanser) yüksek basınçta sıvı olarak çıkan soğutucu akışkanın buharlaştırıcıdan ısı çekip buharlaşabilmesi için basıncının düşürülmesi gerekmektedir. Bu basınç düşürme işlemi genleşme vanasında gerçekleştirilir.

3.2.8 Buharlaştırıcı (Evaporatör)

Genleşme vanasından buharlaştırıcıya püskürtülen sıvı fazdaki soğutucu akışkan, ortamdaki ısıyı çekerek buharlaşma eğilimindedir. Buharlaştırıcı (Evaporatör), soğutucu akışkanın ortamdaki ısı enerjisini çekerek, buharlaştırılmasını sağlayan sistem elemanıdır. Şekil 3.11’de su soğutma amacıyla kullanılan örnek bir buharlaştırıcı gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Buharlaştırıcı (Evaporatör) (Alfa-Laval, 2012)

3.3 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri ile Mekanik Buhar Sıkıştırma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile mekanik buhar sıkıştırma soğutma sistemleri karşılaştırıldığında aşağıdaki hususlar dikkati çeker;

- Mekanik buhar sıkıştırma sistemlerinde sıkıştırma işlemi mekanik kompresörle yapılırken, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde absorber ve kaynatıcıdan oluşan termik bir kompresör kullanılmaktadır. Kullanılan elektrik enerjisi mekanik kompresörde çok fazla iken, termik kompresörde sadece absorberden kaynatıcıya eriyik pompalayan düşük güçte bir sıvı pompası bulunmaktadır.
- Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde sıvı pompası için gereken mekanik enerji, mekanik sıkıştırma soğutma sistemlerindeki kompresörün gerektirdiği mekanik enerjiden hayli düşüktür.
- Mekanik buhar sıkıştırma soğutma sistemlerinde tek bir soğutucu akışkan kullanılır. Absorpsiyonlu sistemlerde soğutucu ve soğurucu (absorbent) olmak üzere iki akışkan çifti kullanılmak zorundadır.
- Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde sıvı pompası dışında hareketli parça olmadığından mekanik buhar sıkıştırma soğutma sistemlerine göre bakım ve onarım masrafları oldukça düşüktür.
- Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde soğurucu (absorbent) maddenin özelliğine göre kristalleşme tehlikesi varken, mekanik buhar sıkıştırma sistemlerinde böyle bir durum söz konusu değildir (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002).

3.4 Tek Etkili Absorpsiyonlu Soğutma Çevriminin Termodinamik Analizi

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin termodinamik analizine temel oluşturacak birtakım kabuller yapılması gerekmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Her bir elemanın sıcaklıkları üniform ve sabit değerlerdir.
2. Kaynatıcı(Jeneratör) ve Yoğuşturucu (kondanser) basıncı, Yoğuşturucu sıcaklığına karşılık gelen soğutucu akışkan doyma basıncıdır.
3. Buharlaştırıcı ve absorber basıncı, buharlaştırıcı sıcaklığına karşılık gelen soğutucu akışkan doyma basıncıdır.
4. Kaynatıcıdan ayrılan soğutucu buharının sıcaklığı ve basıncı, kaynatıcı sıcaklığı ve basıncındadır.
5. Yoğuşturucudan ayrılan soğutucu akışkan, doymuş sıvı fazındadır ($X=0$).
6. Buharlaştırıcıdan ayrılan soğutucu akışkan, doymuş buhar fazındadır ($Y=1$).
7. Absorberden ayrılan eriyik, absorber basınç ve sıcaklığında denge halindedir.
8. Kaynatıcıdan ayrılan eriyik, kaynatıcı basınç ve sıcaklığında denge halindedir.
9. Aynı sıcaklık ve konsantrasyon için, denge halindeki eriyik entalpisi ile dengesiz haldeki entalpi eşittir.
10. Absorber, kaynatıcı, yoğuşturucu, buharlaştırıcı içerisinde ve boru tesisatında basınç kaybı ihmal edilmektedir.
11. Sisteme iş girişi (eriyik pompası işi) ihmal edilebilir.
12. Yoğuşturucu ve absorber aynı kaynak tarafından soğutulduğundan, absorber çıkış sıcaklığı, kondanser (yoğuşturucu) sıcaklığına eşittir. ($t_2 = t_{11}$) (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)

3.4.1 Termodinamiğin I. Kanununa Göre Analiz

Absorpsiyonlu soğutma sistemini oluşturan her bir eleman Sürekli Akışlı Sürekli Açık Sistem (SASA) olarak ele alınır, her bir sistem elemanı için Süreklilik Denklemi ve Termodinamiğin 1. Kanunu yazılırsa ısı kapasitelerinin hesabı mümkün olur.

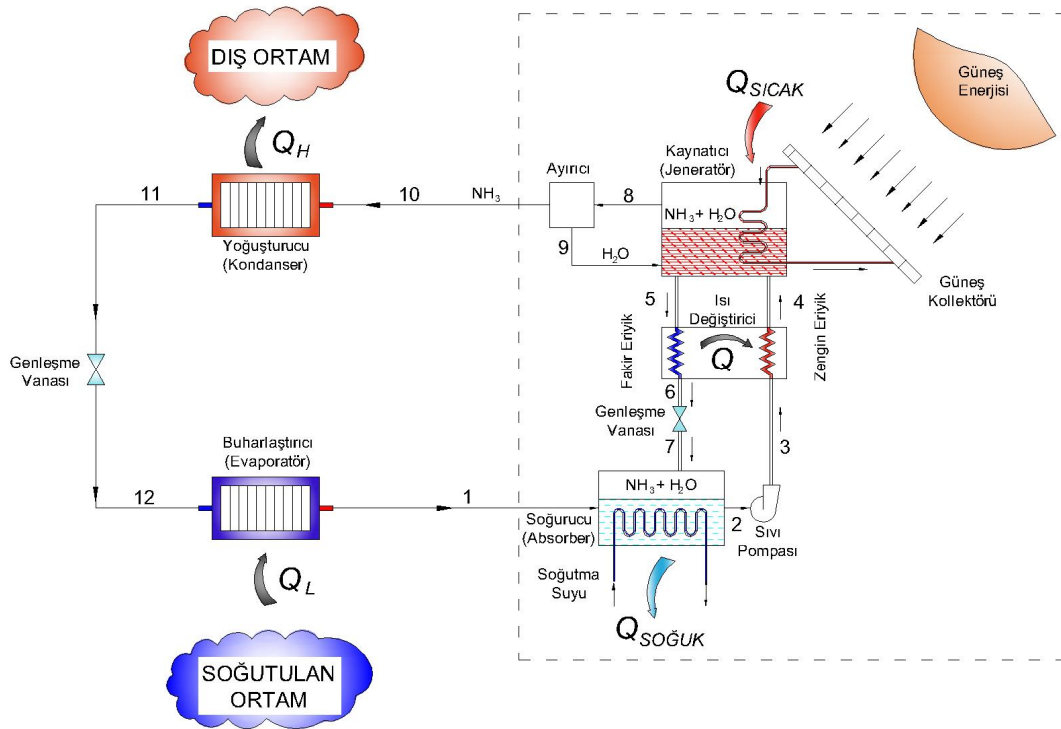
Süreklilik Denklemi;

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (3.1)$$

Burada;

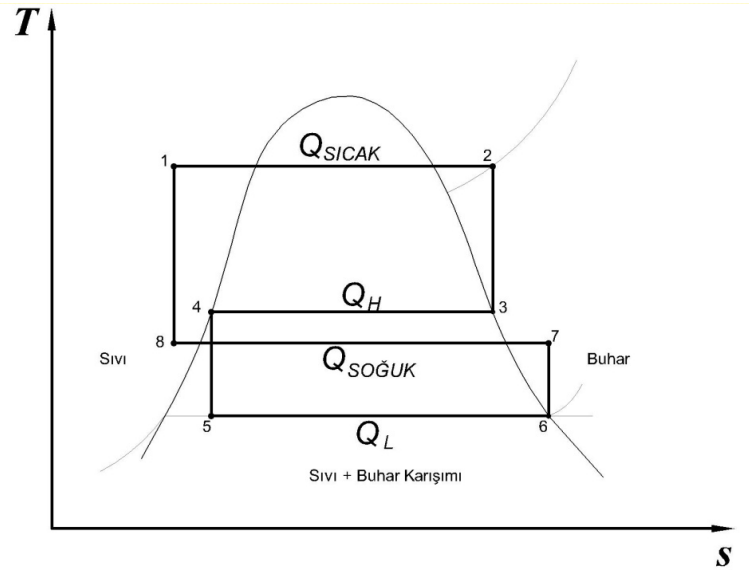
\dot{m}_{giren} : Giren kütle miktarı (kg/s)

$\dot{m}_{çıkan}$: Çıkan kütle miktarı (kg/s)



Şekil 3.12 Absorpsiyonlu soğutma sistemi sistem bileşenleri

İdeal absorpsiyonlu soğutma çevrimindeki işlemler, Şekil 3.13' te gösterilen T-s yardımıyla şöyle açıklanabilir (Tozer & James, 1997);



Şekil 3.13 İdeal absorpsiyonlu soğutma çevriminin T-s diyagramı (Tozer & James, 1997)

- 1-2 : Kaynatıcıda $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ eriyiğine ısı verilmesi
- 2-3 : Kaynatıcıdan kızgın buhar olarak ayrılmış amonyağın izentropik olarak doymuş buhar sıcaklığına düşmesi
- 3-4 : Yoğuşma
- 4-5 : Genleşme vanasında amonyağın izentropik olarak soğuması
- 5-6 : Buharlaşma
- 6-7 : Buharlaştırıcıda doymuş buharın ısınarak kızgın buhar sıcaklığına geçişi
- 7-8 : Kızgın buharın soğurucuda su tarafından absorbe edilmesi
- 8-1 : Eriyik içindeki amonyağın izentropik olarak ısıtılması

Yukarıdaki T-s diyagramında da görüldüğü gibi, ideal absorpsiyonlu soğutma çevriminde absorber ve yoğuşturucu sıcaklıkları hemen hemen aynıdır (Tozer & James, 1997).

Bir kontrol hacmine giren ısı ve mekanik enerji, artı kontrol hacmi içinde üretilen enerji, eksi kontrol hacminden çıkan ısı ve mekanik enerji kontrol hacmi içinde depolanan enerjiye eşittir. (Incropera & DeWitt, 2004)

Termodinamiğin 1. Kanunu;

$$\sum Q - \sum W = \sum H_{\text{Ç}} - \sum H_{\text{G}} \quad (3.2)$$

Burada ;

Q : Alınan veya verilen ısı miktarı (kJ/s)

W : Alınan veya verilen iş miktarı (kJ/s)

H_Ç : Çıkan entalpi (kJ/s)

H_G : Giren entalpi (kJ/s)

Entalpi, kütle miktarı ile özgül entalpi çarpımından elde edilir ;

$$H = m \cdot h \quad (3.3)$$

Sistemin her bir noktasında basınç ve sıcaklığı tespit etmek nispeten kolay olduğundan, basınç ve sıcaklık değerlerine karşılık gelen her bir sistem elemanının giriş ve çıkış noktalarındaki özgül entalpiyi hesaplamak mümkündür. Fakat, özgül entalpi değerinden entalpi değerini hesaplayabilmek için her bir sistem elemanından geçen kütle miktarının tespit edilmesi gerekir ki bu pek kolay değildir. Şekil 3.12’de gösterilen sistem göz önüne alındığında bilinmesi gereken toplam 3 adet kütle miktarının olduğu görülür. Bunlar; amonyakça zengin eriyik debisi, amonyakça fakir eriyik debisi ve soğutucu akışkan debisidir. Bir soğutma sisteminin kapasitesi biliniyorsa, soğutucu

akışkan debisi kolayca bulunabilir. Fakat amonyakça zengin ve amonyakça fakir eriyik debilerinin tespiti kolay değildir. Bu nedenle yapılacak olan termodinamik analiz sadece soğutucu akışkan debisine göre yapılacaktır (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002).

Amonyakça zengin eriyik ve soğutucu buharı arasındaki kütle debisi ilişkisi “sistemin çevrim oranı” olarak tanımlanır ve absorpsiyonlu soğutma sistem elemanlarının kapasitelerinin kütlelerden bağımsız olarak hesaplanmasında yararlanır (Sun, Da-Wen, 1998):

$$f = \frac{\text{Zengin Eriyik Debisi}}{\text{Soğutucu Akışkan Debisi}} = \frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_{10}} = \frac{Y_{10} - X_5}{X_4 - X_5} \quad (3.4)$$

Burada;

\dot{m}_{10} : Kaynatıcıyı terkeden soğutucu akışkan buharının kütle debisi

\dot{m}_4 : Kaynatıcıya giden soğutucu akışkan bakımından zengin eriyiğin kütle debisi

Y_{10} : Kaynatıcıyı terk eden soğutucu akışkan buharının kütle konsantrasyonu

X_4 : Kaynatıcıya giden soğutucu akışkanca zengin eriyik kütle konsantrasyonu

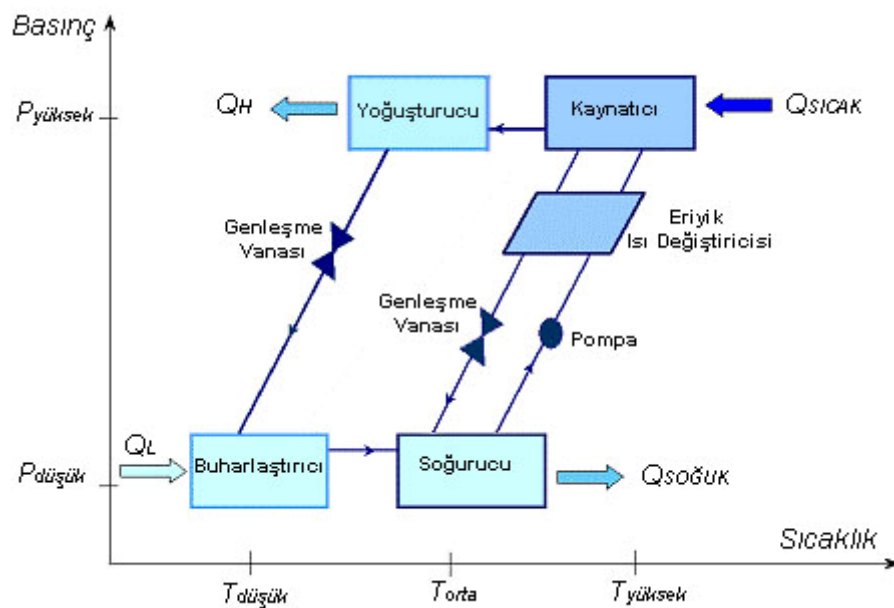
X_5 : Kaynatıcıyı terk eden soğutucu akışkanca fakir eriyik kütle konsantrasyonu

Amonyaklı sistemlerde f değeri %10 ile %30 arasındadır (Eicker, 2003).

3.4.2 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemini Oluşturan Bileşenlerde Meydana Gelen Termodinamik Süreçler

Giren ve üretilen enerjilerin toplamı, çıkan enerjiden fazla olursa, kontrol hacmi içinde depolanan enerjinin miktarında bir artış olur, eğer tersi geçerli ise depolanan enerjide azalma olur. Giren ve üretilen enerjilerin toplamı çıkan enerjiye eşit olursa kontrol hacmi içinde depolanan enerji miktarı zamanla değişmez ve sürekli rejim oluşur. (Incropera & DeWitt, 2004)

Şekil 3.14'te absorpsiyonlu soğutma çevriminin çalışma basınç ve sıcaklığa bağlı olarak hazırlanmış grafiği görülmektedir. Burada sistemdeki alçak ve yüksek basınç noktalarını anlaşılır biçimde ifade edilmektedir.



Şekil 3.14 Absorpsiyonlu soğutma çevriminin Basınç-Sıcaklık diyagramı (Apep, 2011)

İncelediğimiz sistemde soğutucu akışkan olarak kullanılan NH_3 ve H_2O için çeşitli fazlardaki termodinamik özelliklerin tanımlanması gerekmektedir.

Amonyak;

Soğutucu akışkan olarak kullanılan amonyağın iki faz dengeli basınç ve sıcaklık bağıntısı şöyle ifade edilir;

$$P(T) = 10^3 \sum_{i=0}^6 a_i (T - 273.15)^i \quad (3.5)$$

Doymuş amonyak sıvı ve buhar özgül entalpi değerlerinin sıcaklığa bağlı ifadesi (Sun, Da-Wen, 1998);

$$h_S(T) = \sum_{i=0}^6 b_i (T - 273.15)^i \quad (3.6)$$

$$h_B(T) = \sum_{i=0}^6 c_i (T - 273.15)^i \quad (3.7)$$

Çizelge 3.2 Denklem (3.5),(3.6) ve (3.7) için katsayılar (Sun, Da-Wen, 1998)

i	a_i Denklem 3.5	b_i Denklem 3.6	c_i Denklem 3.7
0	4.2871×10^{-1}	1.9879×10^2	1.4633×10^3
1	1.6001×10^{-2}	4.4644×10^0	1.2839×10^0
2	2.3652×10^{-4}	6.2790×10^{-3}	-1.1501×10^{-2}
3	1.6132×10^{-6}	1.4591×10^{-4}	-2.1523×10^{-4}
4	2.4303×10^{-9}	-1.5262×10^{-6}	1.9055×10^{-6}
5	-1.2494×10^{-11}	-1.8069×10^{-8}	2.5608×10^{-8}
6	1.2741×10^{-13}	1.9054×10^{-10}	-2.5964×10^{-10}
Standard error	1.6×10^{-3}	8.5626×10^0	1.059×10^1
Mean deviation	1.252×10^{-2}	5.566×10^{-3}	3.679×10^{-3}

Amonyak-Su Eriyiği;

NH₃ ve H₂O karışımının doymuş buhar P (kPa), eriyik sıcaklığı T (K) ve amonyak konsantrasyonu X (yüzdeler) arasındaki bağıntı (Sun, Da-Wen, 1997);

$$\log P = A - \frac{B}{T} \quad (3.8)$$

Burada;

$$A = 7.44 - 1.767X + 0.9823X^2 + 0.3627X^3 \quad (3.9)$$

$$B = 2012.8 - 2155.7X + 1540.9X^2 - 194.7X^3 \quad (3.10)$$

Amonyak-Su akışkan çifti kullanan sistemler için, suyun % 1'inin soğutucu akışkan olan amonyakta bulunduğu varsayımı yapılır ve buna göre aşağıda verilen basınç P (kPa), sıcaklık T(K), entalpi h (kJ/kg) ve amonyak konsantrasyonları \bar{X} , \bar{Y} (yüzdeler) arasındaki bağıntıları, soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında kullanılır (Sun, Da-Wen, 1997);

Doymuş sıvı fazı için;

$$T_l(P, \bar{X}) = 100 \sum_{i=1}^{14} a_i (1 - \bar{X})^{m_i} \left[\ln \left(\frac{2000}{P} \right) \right]^{n_i} \quad (3.11)$$

$$h_l(T, \bar{X}) = 100 \sum_{i=1}^{16} a_i \left(\frac{T}{273.16} - 1 \right)^{m_i} \bar{X}^{n_i} \quad (3.12)$$

Doymuş buhar fazı için;

$$T_v(P, \bar{Y}) = 100 \sum_{i=1}^{17} a_i (1 - \bar{Y})^{m_i/4} \left[\ln \left(\frac{2000}{P} \right) \right]^{n_i} \quad (3.13)$$

$$h_v(T, \bar{Y}) = 100 \sum_{i=1}^{17} a_i \left(1 - \frac{T}{324} \right)^{m_i} (1 - \bar{Y})^{n_i/4} \quad (3.14)$$

Burada \bar{X} amonyağın mol konsantrasyonudur ve kütle konsantrasyonu ile arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde ifade edilir. (Sun, Da-Wen, 1998),

$$\bar{X} = \frac{18.015 X}{18.015 X + 17.03(1 - X)} \quad (3.15)$$

Bu temellere dayanılarak hazırlanmış $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ akışkan çiftinin termodinamik özellikleri EK-1'de, basınç, sıcaklık ve konsantrasyon grafikleri ise EK-2, EK-3 ve EK-4'te sunulmuştur.

Amonyak-su eriyiğinin özgül hacmi v (m^3/kg), sıcaklık T (K) ve eriyik konsantrasyonuna X (yüzdeler) bağlı olarak şöyle ifade edilir:

$$v(T, X) = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 a_{ij} \cdot X^j \cdot T^i \quad (3.16)$$

İndisler çizelge 3.3 ve 3.4'te gösterilmiştir (Sun, Da-Wen, 1997).

Yukarıda verilen temel bilgiler doğrultusunda soğutma sisteminde bulunan sistem elemanlarının (kontrol hacmi olarak) her biri için termodinamiğin birinci yasa çözümlenmeleri yapılacaktır.

Çizelge 3.3 Denklem (3.11), (3.12), (3.12) ve (3.14) için katsayılar (Sun, D.W.,1997)

Denklem (3.11)				Denklem (3.12)			
i	m_i	n_i	a_i	i	m_i	n_i	a_i
1	0	0	3.22302	1	0	1	-7.6108
2	0	1	-3.84206×10^{-1}	2	0	4	2.56905×10^1
3	0	2	4.60965×10^{-2}	3	0	8	-2.47092×10^2
4	0	3	-3.78945×10^{-3}	4	0	9	3.25952×10^2
5	0	4	1.3561×10^{-4}	5	0	12	-1.58854×10^2
6	1	0	4.87755×10^{-1}	6	0	14	6.19084×10^1
7	1	1	-1.20108×10^{-1}	7	1	0	1.14314×10^1
8	1	2	1.06154×10^{-2}	8	1	1	1.18157
9	2	3	-5.33589×10^{-4}	9	2	1	2.84179
10	4	0	7.85041	10	3	3	7.41609
11	5	0	-1.15941×10^{-1}	11	5	3	8.91844×10^2
12	5	1	-5.2315×10^{-2}	12	5	4	-1.61309×10^3
13	6	0	4.89596	13	5	5	6.22106×10^2
14	13	1	4.21059×10^{-2}	14	6	2	-2.07588×10^2
				15	6	4	-6.87393
				16	8	0	3.50716

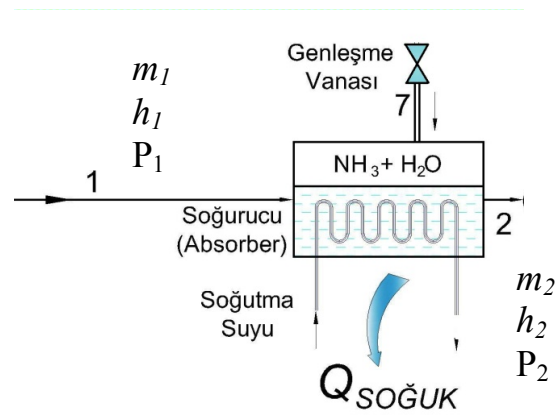
Denklem (3.13)				Denklem (3.14)			
i	m_i	n_i	a_i	i	m_i	n_i	a_i
1	0	0	3.24004	1	0	0	1.28827
2	0	1	-3.9592×10^{-1}	2	1	0	1.25247×10^{-1}
3	0	2	4.35624×10^{-2}	3	2	0	-2.08748
4	0	3	-2.18943×10^{-3}	4	3	0	2.17696
5	1	0	-1.43526	5	0	2	2.35687
6	1	1	1.05256	6	1	2	-8.86987
7	1	2	-7.19281×10^{-2}	7	2	2	1.02635×10^1
8	2	0	1.22362×10^1	8	3	2	-2.3744
9	2	1	-2.24368	9	0	3	-6.70515
10	3	0	-2.0178×10^1	10	1	3	1.64508×10^1
11	3	1	1.10834	11	2	3	-9.36849
12	4	0	1.45399×10^1	12	0	4	8.42254
13	4	2	6.44312×10^{-1}	13	1	4	-8.58807
14	5	0	-2.21246	14	0	5	-2.77049
15	5	2	-7.56266×10^{-1}	15	4	6	-9.61248×10^{-1}
16	6	0	-1.35529	16	2	7	9.88009×10^{-1}
17	7	2	1.83541×10^{-1}	17	1	10	3.08482×10^{-1}

Çizelge 3.4 NH₃-H₂O Çözeltisinin Özgül hacim denklemi (3.16) için katsayılar (Sun, D.W.,1997)

i	j	a_{ij}	i	j	a_{ij}	i	j	a_{ij}	i	j	a_{ij}
0	0	$9,9842 \cdot 10^{-4}$	0	1	$3,5489 \cdot 10^{-4}$	0	2	$-1,2006 \cdot 10^{-4}$	0	3	$3,2426 \cdot 10^{-4}$
1	0	$-7,8161 \cdot 10^{-8}$	1	1	$5,2610 \cdot 10^{-6}$	1	2	$-1,0567 \cdot 10^{-5}$	1	3	$9,8890 \cdot 10^{-6}$
2	0	$8,7601 \cdot 10^{-9}$	2	1	$-8,4137 \cdot 10^{-8}$	2	2	$2,4056 \cdot 10^{-7}$	2	3	$-1,8715 \cdot 10^{-7}$
3	0	$-3,9076 \cdot 10^{-11}$	3	1	$6,4816 \cdot 10^{-10}$	3	2	$-1,9851 \cdot 10^{-9}$	3	3	$1,7727 \cdot 10^{-9}$

3.4.2.1 Soğurucu (Absorber)

Amonyak buharı, buharlaştırıcıdan çıktıktan sonra soğurucuya girer. Burada su ile kimyasal reaksiyona girerek $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ çözeltisini oluşturur. Bu reaksiyon ekzotermik yani ısı veren bir reaksiyondur. Su içinde soğurulan amonyak miktarı sıcaklıkla ters orantılıdır. Bu nedenle absorber sıcaklığı olabildiğinde soğuk tutularak soğurulan amonyak miktarı artırılır.



Şekil 3.15 Şematik olarak soğurucu

3.4.2.1.1 Süreklilik Denklemleri

Süreklilik yasasına göre;

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_7 = \dot{m}_2 \quad (\text{kg / s}) \quad (3.17)$$

denklemini yazılabilir. Burada;

\dot{m}_1 : Buharlaştırıcıdan çıkıp soğurucuya (absorber) gelen soğutucu akışkan buharının kütleli debisi

\dot{m}_2 : Soğurucu çıkışındaki amonyakça zengin eriyiğin kütleli debisi

\dot{m}_7 : Kaynattıcıdan çıkıp soğurucuya amonyakça fakir eriyiğin kütleli debisi

3.4.2.1.2 Enerji Denklemleri

Enerji korunum yasasına göre;

$$Q_{\text{absorber}} = m_1 \cdot h_1 + m_7 \cdot h_7 - m_2 \cdot h_2 \quad (3.18)$$

denklemini yazılabilir.

h_1 : Soğurucuya giren soğutucu akışkan buharının entalpisi (kJ / kg)

h_2 : Soğurucudan çıkan zengin eriyik entalpisi (kJ / kg)

h_7 : Soğurucuya giren amonyakça fakir eriyik entalpisi (kJ / kg)

Denklem 3.2 ve 3.3'ten yararlanarak absorbere giren birim soğutucu akışkan buharı için soğurucu akışkandan çekilmesi gereken ısı miktarı:

$$\dot{q}_{\text{absorber}} = \frac{Q_{\text{absorber}}}{m} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3.19)$$

$$\dot{q}_{\text{absorber}} = h_1 - h_7 + \frac{m_2}{m_1} (h_7 - h_2) \quad (3.20)$$

denklemini ile elde edilir (Herold, Radermacher, & Klein, 1996)

Burada, önceki bölümde açıkladığımız “sistemin çevrim oranı” ifadesi, denklemde yerine f indisi ile gösterildiğinde;

$$\dot{q}_{\text{absorber}} = h_1 - h_7 + f \cdot (h_7 - h_2) \quad (3.21)$$

olarak yazılabilir (Herold, Radermacher, & Klein, 1996)

Enerji korunum yasasına dayanarak yazılan bu denklemlere göre buharlaştırıcıdan çıkıp soğurucuya giren soğutucu akışkanın ısı miktarı ile kaynatıcıdan soğurucuya dönen amonyakça fakir eriyiğin ısı miktarı toplamı, soğurucudan ayrılan zengin eriyiğin ısı ile soğurucu ısısının toplamına eşittir.

3.4.2.1.3 Basınç Özellikleri

Absorberde basınç sabittir ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

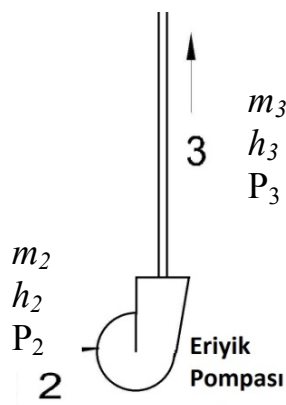
$$P_1 = P_2 = P_7 \quad (\text{kPa}) \quad (3.22)$$

P_1 : Soğutucu akışkan buharının soğurucuya giriş basıncı

P_2 : Zengin eriyiğin soğurucudan çıkış basıncı

P_7 : Amonyakça fakir eriyiğin soğurucuya giriş basıncıdır.

3.4.2.2 Sıvı Pompası



Şekil 3.16 Sıvı pompası

Amonyak bakımından zengin olan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ çözeltisini kaynatıcıya göndermek amacıyla kullanılan sıvı pompasına verilmesi gereken iş eriyiğın özgül hacmiyle doğru orantılıdır.

3.4.2.2.1 Süreklilik Denklemleri

Süreklilik yasasına göre;

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (\text{kg} / \text{s}) \quad (3.23)$$

denklemleri yazılabilir. Burada;

\dot{m}_2 : Soğurucudan çıkıp pompaya giren eriyiğın kütleli debisi

\dot{m}_3 : Pompadan çıkan eriyiğın kütleli debisi

3.4.2.2.2 Enerji Denklemleri

Soğurucudan kaynatıcıya başka bir ifade ile alçak basınç bölgesinden yüksek basınç bölgesine eriyiğın aktarılması için pompa kullanılır. Bu eriyik pompasına verilmesi gereken enerji miktarı;

$$W_{pompa} = \dot{m}_2 \cdot v_2 (P_3 - P_2) \quad (\text{kW}) \quad (3.24)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada;

v_2 : Eriyiğın özgül hacmi (m^3 / kg)

P_2 : Pompa girişindeki eriyik basıncı (kPa)

P_3 : Pompa çıkısındaki eriyik basıncıdır. (kPa)

NH₃-H₂O çözeltisi için belli sıcaklık ve konsantrasyon aralıkları ile gösterilmiş özgül ağırlık çizelgeleri hazırlanmıştır. Pratikte kullanılan hesaplarda bu çizelgelerden de yararlanılmaktadır.

Pompa çıkışındaki eriyiğin entalpisi için;

$$W_{pompa} = \dot{m}_2 \cdot (h_3 - h_2) \quad (kW) \quad (3.25)$$

denklemini kullanılabılır. Burada;

h_2 : Pompa girişindeki eriyiğin entalpisi (kJ / kg)

h_3 : Pompa çıkışındaki eriyiğin entalpisi (kJ / kg)

3.4.2.2.3 Basınç Özellikleri

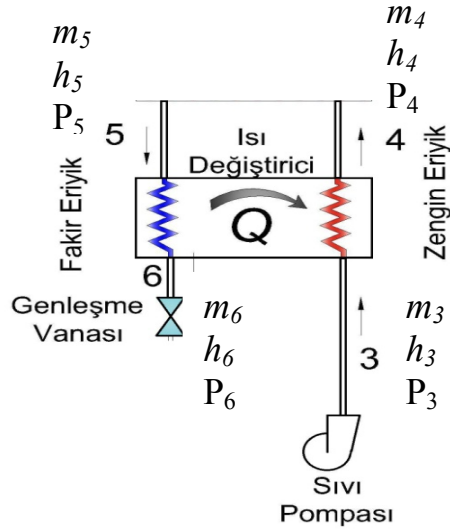
Sistemdeki eriyik pompasının amacının eriyiğin absorberden kaynatıcıya gönderilmesi olmasına dayanarak;

$$P_3 > P_2 \quad (3.26)$$

eşitsizliği yazılabilir.

3.4.2.3 Isı Değiştiricisi

Soğutucu akışkanın soğurucu akışkan tarafından soğurulması sıcaklık ile ters orantılı olduğundan ısı değiştiricisinde, kaynatıcıdan absorbere dönmekte olan Amonyakça fakir eriyiğin ısısının, kaynatıcıya pompalanan amonyakça zengin eriyiğe geçmesi sağlanır.



Şekil 3.17 Isı değiştiricisi şeması

3.4.2.3.1 Süreklilik Denklemleri

Süreklilik yasasına göre;

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (\text{kg / s}) \quad (3.27)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (\text{kg / s}) \quad (3.28)$$

Burada;

\dot{m}_3 : Pompadan çıkarak ısı değiştiricisine giren amonyakça zengin eriyiğin kütleli debisi

\dot{m}_4 : Isı değiştiricisinden ısıtılmış olarak çıkıp kaynatıcıya giden amonyakça zengin eriyik kütleli debisi

\dot{m}_5 : Kaynatıcıdan çıkarak ısı değiştiricisine giren amonyakça fakir eriyik kütleli debisi

\dot{m}_6 : Isı değiştiricisinde ısısını bırakarak çıkıp genleşme valfine giden amonyakça fakir eriyiğin kütleli debisi

Soğurucudan kaynatıcıya giden ve kaynatıcıdan soğurucuya dönen eriyik debileri arasında, süreklilik ilkesine dayanarak;

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_{10} = \dot{m}_4 \text{ (kg/s)} \quad (3.29)$$

ifadesi yazılabilir. Burada,

\dot{m}_{10} : Ayrıcıdan ayrılarak kondansere giden soğutucu akışkan buharının kütleli debisi

Denklem (3.29)'a göre sistemin çevrim oranı aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$f = \frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_{10}} = \frac{\dot{m}_5 + \dot{m}_{10}}{\dot{m}_{10}} \quad (3.30)$$

3.4.2.3.2 Enerji Denklemleri

Enerji korunum yasasına göre;

$$\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_6 h_6 \quad (3.31)$$

eşitliği yazılabilir. Burada,

h_4 : Isı değiştiricisinden çıkarak kaynatıcıya giden amonyakça zengin eriyiğin entalpisi (kJ / kg)

h_5 : Kaynatıcıdan çıkarak ısı değiştiricisine giren amonyakça fakir eriyiğin entalpisi (kJ / kg)

h_6 : Isı değiştiricisinden çıkarak genişleme vanasına giden amonyakça fakir eriyiğin entalpisi (kJ / kg)

3.4.2.3.3 Basınç Özellikleri

Isı değiştiricisinin giriş ve çıkışlarındaki eriyik basınçları birbirine eşittir ve şöyle ifade edilir;

$$P_3 = P_4 = P_5 = P_6 \quad (3.32)$$

P_3 : Sıvı pompasından çıkıp ısı değiştiricisine giren amonyakça zengin eriyiğın basıncı

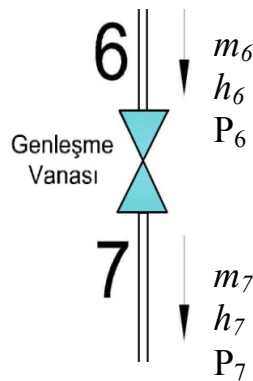
P_4 : Isı değiştiricisinde sıcaklığı yükselerek çıkıp kaynatıcıya giden amonyakça zengin eriyiğın basıncı

P_5 : Kaynatıcıdan çıkıp ısı değiştiricisine giren amonyakça fakir eriyiğın basıncı

P_6 : Isı değiştiricisinde sıcaklığı düşerek absorbere dönmek üzere genleşme valfine giden amonyakça fakir eriyiğın basıncıdır.

3.4.2.4 Eriyik Genleşme Vanası

Yüksek basınç bölgesinde bulunan kaynatıcıdaki amonyakça fakir eriyik absorbere girişte genleşme vanasından geçirilerek sabit entalpi değerinde basıncı düşürülür.



Şekil 3.18 Eriyik genleşme vanası şematik gösterimi

3.4.2.4.1 Süreklilik Denklemleri

Süreklilik yasasına göre;

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 \quad (kg / s) \quad (3.33)$$

Burada;

\dot{m}_6 : Isı değiştiricisinde ısısını bırakarak genişleme valfine giden yüksek basınçlı amonyakça fakir eriyiğın kütlelel debisi

\dot{m}_7 : Genleşme vanasından düşük basınçta çıkıp soğurucuya (Absorber) giden amonyakça fakir eriyiğın kütlelel debisi

3.4.2.4.2 Enerji Denklemleri

Genleşme vanasında basınç düşerken entalpi sabit kalmaktadır. Buna göre;

$$h_6 = h_7 \quad (kJ/kg) \quad (3.34)$$

h_6 : Isı değiştiricisinde ısısını bırakarak genişleme valfine giden yüksek basınçlı amonyakça fakir eriyiğın entalpi değeri

h_7 : Genleşme vanasından düşük basınçta çıkıp soğurucuya (Absorber) giden amonyakça fakir eriyiğın entalpi değeri

3.4.2.4.3 Basınç Özellikleri

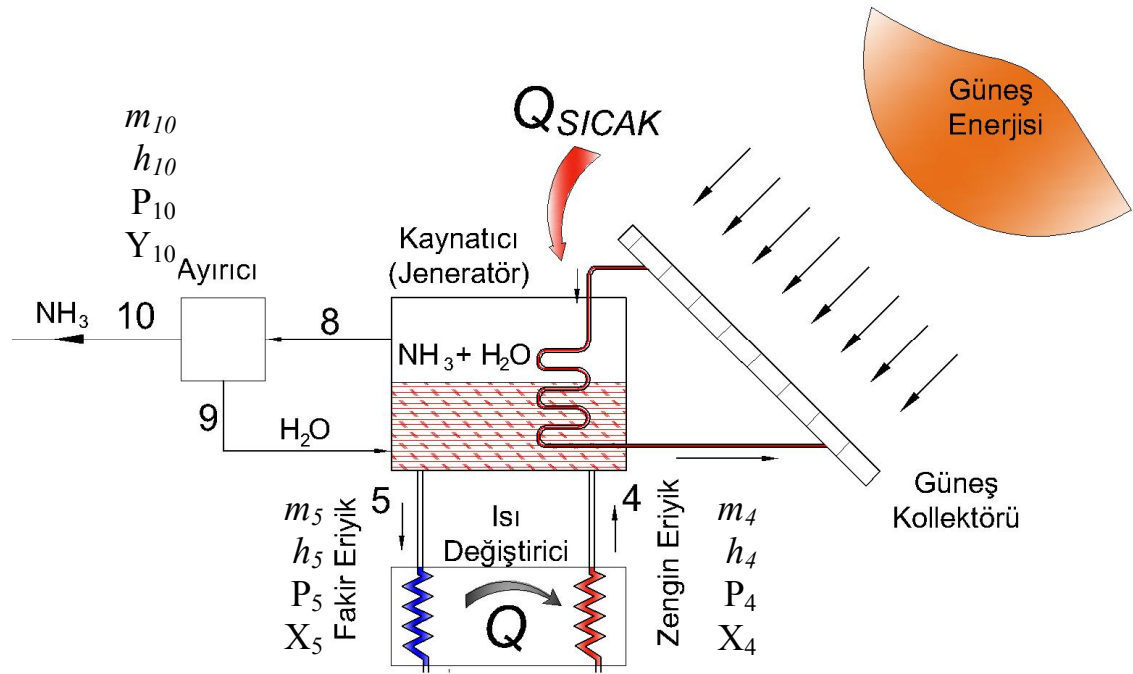
Eriyik genişleme valfinde yüksek basınçlı amonyakça fakir eriyik absorbere düşük basınçta gönderilir. Bu durumda aşağıdaki eşitsizlik yazılabilir;

$$P_6 > P_7 \quad (3.35)$$

3.4.2.5 Kaynatıcı (Jeneratör) ve Ayırıcı

Soğurucu ve soğutucu akışkandan oluşan amonyakça zengin çözelti sıvı pompası tarafından kaynatıcıya gönderildikten sonra, kaynatıcıda eriyiğe ısı verilip, akışkanların farklı buharlaşma sıcaklıklarından yararlanılarak birbirinden ayrılmaları sağlanır.

Kaynatıcı, Şekil 3.19'da $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ akışkan çifti için şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Kaynatıcı (Jeneratör) ve ayırıcının şematik görünümü

3.4.2.5.1 Süreklilik Denklemleri

Kontrol hacmi için süreklilik yasası uygulanarak;

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \dot{m}_{10} \quad (\text{kg/s}) \quad (3.36)$$

kütle korunum denklemi yazılabilir.

Denklem (3.36), amonyak gazının konsantrasyonu göz önüne alınarak tekrar yazılacak olursa:

$$\dot{m}_4 \cdot X_4 = \dot{m}_5 \cdot X_5 + \dot{m}_{10} \quad (\text{kg/s}) \quad (3.37)$$

Burada,

X_4 : Isı değiştiricisinden çıkararak jeneratöre giren amonyakça zengin eriyikteki amonyağın konsantrasyonu (kg / kg)

X_5 : Jeneratörü terk eden amonyakça fakir eriyikteki amonyağın konsantrasyonu (kg /kg)

Denklem (3.36) ve (3. 37)'den amonyakça zengin ve fakir eriyikler için akış oranı aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$m_5 = \frac{1 - X_4}{X_4 - X_5} \cdot m_{10} \quad (3.38)$$

$$m_4 = \frac{1 - X_5}{X_4 - X_5} \cdot m_{10} \quad (3.39)$$

Sistemin evrim oranı ise şöyle ifade edilir (Sun, Da-Wen, 1998);

$$f = \frac{m_4}{m_{10}} \quad (3.40)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Kaynaticı ve ayırıcı için kütlesel denge,

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \dot{m}_{10} \quad (\text{kg/s}) \quad (3.41)$$

şeklinde yazılabilir.

Kaynatıcı ile ayırıcı için amonyağın kütle denklemi ise,

$$\dot{m}_4 \cdot X_4 = \dot{m}_5 \cdot X_5 + \dot{m}_{10} \cdot Y_{10} \quad (\text{kg/s}) \quad (3.42)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem (3.42)' nin taraf tarafa \dot{m}_{10} 'a bölünüp, denklem (3.39) ve (3.40) yardımı ile;

$$f \cdot X_4 = X_5(f - 1) + Y_{10} \quad (3.43)$$

elde edilir. Buna göre sistemin çevrim oranı tekrar düzenlenecek olursa,

$$f = \frac{Y_{10} - X_5}{X_4 - X_5} \quad (3.44)$$

denklemini elde edilir (Herold, Radermacher, & Klein, 1996).

Burada,

Y_{10} : Ayırıcıdan **buhar** olarak ayrılan amonyağın konsantrasyonudur. (kg / kg)

Ayırıcıdaki akışkan için Termodinamiğin 1. Yasasına göre kütle korunum denklemi yazılırsa;

$$\dot{m}_9 + \dot{m}_{10} = \dot{m}_8 \quad (kg/s) \quad (3.45)$$

Amonyak için kütlesele denge uygulandığında;

$$\dot{m}_9 \cdot X_9 + \dot{m}_{10} \cdot X_{10} = \dot{m}_8 \cdot X_8 \quad (kg/s) \quad (3.46)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu iki ifade \dot{m}_9 için çözümlendiğinde aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \cdot \left(\frac{X_{10} - X_8}{X_8 - X_9} \right) \quad (kg/s) \quad (3.47)$$

(Herold, Radermacher, & Klein, 1996)

3.4.2.5.2 Enerji Denklemleri

Ayırıcı ve Kaynatıcı için enerji korunum denklemleri ayrı ayrı incelenecektir.

Ayırıcı ;

$$Q_{SICAK} + \dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_9 \cdot h_9 = \dot{m}_5 \cdot h_5 + \dot{m}_8 \cdot h_8 \quad (3.48)$$

Enerji korunum denklemi (3.48) düzenlenirse;

$$Q_{SICAK} = \dot{m}_5 \cdot h_5 + \dot{m}_8 \cdot h_8 - \dot{m}_4 \cdot h_4 - \dot{m}_9 \cdot h_9 \quad (3.49)$$

denklemi elde edilir.

h_8 : Kaynatıcıdan çıkan buharın entalpisi (kJ / kg)

h_9 : Ayırıcıdan geri dönen çözeltinin entalpisi (kJ / kg)

Kaynatıcı ve ayırıcı yapısal bütünlük içerisinde olduğundan enerji korunum denklemi birlikte incelenirse;

$$Q_{SICAK} + m_4 \cdot h_4 = m_5 \cdot h_5 + m_{10} \cdot h_{10} + Q_{AYIRICI} \quad (3.50)$$

Denklem (3.50) düzenlenirse;

$$Q_{SICAK} = m_5 \cdot h_5 + m_{10} \cdot h_{10} + Q_{AYIRICI} - m_4 \cdot h_4 \quad (3.51)$$

Burada

$Q_{AYIRICI}$: Ayırıcıdan dışarıya atılan ısı

Q_{SICAK} : Üretilen birim soğutucu akışkan başına jeneratöre verilmesi gereken ısı miktarı,

$$q_{SICAK} = \frac{Q_{SICAK}}{m_{10}} \text{ (kJ/kg)} \quad (3.52)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem (3.51)'de verilen Q_{SICAK} , yerine konularak çözümlerse;

$$q_{SICAK} = \frac{m_5}{m_{10}} \cdot h_5 + h_{10} + \frac{Q_{AYIRICI}}{m_{10}} - \frac{m_4}{m_{10}} \cdot h_4 \quad (3.53)$$

Buradan;

$$q_{SICAK} = h_{10} - f \cdot h_4 + (f - 1) \cdot h_5 + q_{AYIRICI} \quad (3.54)$$

denklemini elde edilir. Bu da düzenlendiğinde,

$$q_{SICAK} = h_{10} - h_5 + f \cdot (h_5 - h_4) + q_{AYIRICI} \text{ (kJ/kg)} \quad (3.55)$$

(Herold, Radermacher, & Klein, 1996)

Ayırıcı kontrol hacmi içerisinde Enerji korunumu ilkesi incelenecek olursa;

$$Q_{AYIRICI} + m_{10} \cdot h_{10} + m_9 \cdot h_9 = m_8 \cdot h_8 \quad (3.56)$$

denklemini yazılabilir. Bu denklem $Q_{AYIRICI}$ için düzenlendiğinde,

$$Q_{AYIRICI} = m_8 \cdot h_8 - m_{10} \cdot h_{10} - m_9 \cdot h_9 \quad (\text{kJ}) \quad (3.57)$$

denklemini elde edilir.

Üretilen birim soğutucu akışkan buharı başına ayırıcıdan çekilmesi gereken ısı miktarı;

$$q_{AYIRICI} = (h_8 - h_{10}) + \frac{(X_{10} - X_8)}{(X_8 - X_9)} \cdot (h_8 - h_9) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3.58)$$

denklemini yazılabilir (Herold, Radermacher, & Klein, 1996).

3.4.2.5.3 Basınç Özellikleri

Kaynatıcı ve Ayırıcı yapısal bütünlük içerisinde olduğundan, kontrol hacmine giren ve çıkan soğutucu akışkan basınçlarının eşit olduğu varsayılmıştır;

$$P_4 = P_5 = P_{10} \quad (\text{kPa}) \quad (3.59)$$

Kaynatıcı:

$$P_4 = P_5 = P_8 = P_9 \quad (\text{kPa}) \quad (3.60)$$

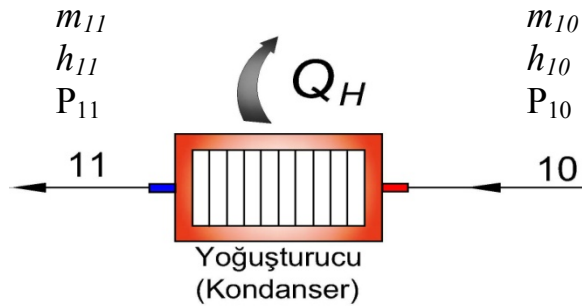
olup, bütün noktalardaki basınçların eşit olduğu kabul edilmiştir.

Ayırıcı, giriş ve çıkışlarındaki basınç değerleri aynıdır:

$$P_8 = P_9 = P_{10} \quad (kPa) \quad (3.61)$$

Sonuç olarak kaynatıcı ve ayırıcı giriş ve çıkışlarındaki akışkan basınçları aynıdır.

3.4.2.6 Yoğuşturucu (Kondanser)



Şekil 3.20 Şematik kondanser

Kaynatıcıdan kızgın buhar olarak ayrılarak yoğuşturucuya gelen soğutucu akışkan, yoğuşturucuyu, sabit basınçta çevreye ısı vererek doymuş sıvı halinde terk eder.

3.4.2.6.1 Süreklilik Denklemleri

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \quad (kg/s) \quad (3.62)$$

\dot{m}_{10} : Kondansere (Yoğuşturucuya) giren soğutucu akışkanın kütleli debisi (kg/s)

\dot{m}_{11} : Kondanserden çıkan soğutucu akışkanın kütleli debisi (kg/s)

3.4.2.6.2 Enerji Denklemleri

$$Q_H = \dot{m}_{10} (h_{10} - h_{11}) \quad (\text{kW}) \quad (3.63)$$

h_{10} : Kondanser girişindeki soğutucu akışkan entalpisi (kJ / kg)

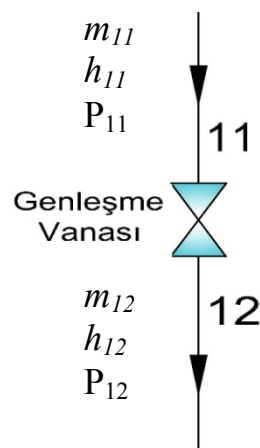
h_{11} : Kondanser çıkışındaki soğutucu akışkan entalpisi (kJ / kg)

3.4.2.6.3 Basınç Özellikleri

Kondanser giriş ve çıkışındaki soğutucu akışkan basıncı sabittir ve denklem (3.64)'te olduğu gibi ifade edilir:

$$P_{10} = P_{11} \quad (\text{kPa}) \quad (3.64)$$

3.4.2.7 Soğutucu Akışkan Genleşme Vanası



Şekil 3.21 Soğutucu akışkan genleşme vanası şematik görünümü

Yüksek basınç bölgesinde bulunan soğutucu akışkan sabit basınçta yoğuşturucudan geçerek doymuş sıvı olarak çıkar. Akışkan daha sonra genişleme vanasında buharlaştırıcı basıncına düşürülür. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı soğutulacak ortamın sıcaklığının altına düşer. (Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A., 2000)

3.4.2.7.1 Süreklilik Denklemleri

Soğutucu akışkan genişleme vanası giriş ve çıkışında akışkan kütleli debisi değişmemektedir.

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} \quad (kg/s) \quad (3.65)$$

\dot{m}_{11} : Genleşme vanası girişinde soğutucu akışkan kütleli debisi (kg/s)

\dot{m}_{12} : Genleşme vanası çıkışında soğutucu akışkan kütleli debisi (kg/s)

3.4.2.7.2 Enerji Denklemleri

Genleşme vanası giriş ve çıkışında soğutucu akışkanın entalpisi sabit kalmaktadır.

$$h_{11} = h_{12} \quad (kJ/kg) \quad (3.66)$$

h_{11} : Genleşme vanası girişinde soğutucu akışkan entalpisi

h_{12} : Genleşme vanası çıkışında soğutucu akışkan entalpidir

3.4.2.7.3 Basınç Özellikleri

Yoğuşturucudan gelen yüksek basınçlı soğutucu akışkan genişleme vanasında basıncı düşürülerek buharlaştırıcı basıncında buharlaştırıcıya gönderilir.

$$P_{11} > P_{12} \quad (3.67)$$

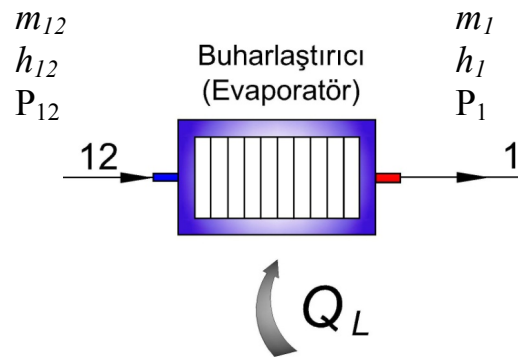
olup, burada;

P_{11} : Genleşme vanası girişinde soğutucu akışkan basıncı

P_{12} : Genleşme vanası çıkışında soğutucu akışkan basıncıdır.

3.4.2.8 Buharlaştırıcı (Evaporatör)

Genleşme vanasından kısılarak evaporatöre giren soğutucu akışkan ortamdan ısı çekerek gaz fazında buharlaştırıcıyı terk eder.



Şekil 3.22 Buharlaştırıcı (Evaporatör) şematik görünüm

3.4.2.8.1 Süreklilik Denklemleri

Buharlaştırıcı giriş ve çıkışındaki soğutucu akışkan kütleli debileri birbirine eşittir.

$$\dot{m}_{12} = \dot{m}_1 \quad (kg/s) \quad (3.68)$$

Burada;

\dot{m}_{12} : Buharlaştırıcı girişindeki soğutucu akışkanın kütleli debisi

\dot{m}_1 : Buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkanın kütleli debisi

3.4.2.8.2 Enerji Denklemleri

$$Q_L = \dot{m}_{12} \cdot (h_{12} - h_1) \quad (kW) \quad (3.69)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

Q_L : Buharlaştırıcının soğutulan ortamdaki aldığı ısı (kW)

h_{12} : Buharlaştırıcı girişinde soğutucu akışkanın entalpisi (kJ / kg)

h_1 : Buharlaştırıcı çıkışında soğutucu akışkanın entalpisi (kJ / kg)

3.4.2.8.3 Basınç Özellikleri

Buharlaştırıcı giriş ve çıkışındaki soğutucu akışkan basınç değerlerinin değişmediği kabul edilebilir ve şöyle ifade edilir.

$$P_{12} = P_1 \quad (kPa) \quad (3.70)$$

3.4.2.9 Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Tamamı İçin I. Kanun Analizi

Absorpsiyonlu soğutma makinesinin bütünü için kütle, kütleli konsantrasyon, basınç ve enerji denklemleri yazılacak olursa,

3.4.2.9.1 Soğutucu Akışkan Kütlesel Debisi

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} = \dot{m}_1 \text{ (kg/s)} \quad (3.71)$$

3.4.2.9.2 Fakir Eriyik Kütlesel Debisi

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_7 \text{ (kg/s)} \quad (3.72)$$

3.4.2.9.3 Zengin Eriyik Kütlesel Debisi

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \text{ (kg/s)} \quad (3.73)$$

3.4.2.9.4 Soğutucu Akışkan Kütlesel Konsantrasyonu

$$Y_{10} = X_{11} = X_{12} = X_1 \text{ (kg/kg)} \quad (3.74)$$

Ayırıcıdan çıkan buharın saf olduğu kabul edilmiştir.

3.4.2.9.5 Fakir Eriyik Kütlesel Konsantrasyonu

$$X_5 = X_6 = X_7 \text{ (kg/kg)} \quad (3.75)$$

3.4.2.9.6 Zengin Eriyik Kütlesel Konsantrasyonu

$$X_2 = X_3 = X_4 \text{ (kg/kg)} \quad (3.76)$$

3.4.2.9.7 Alçak Basıncı Bölge İçin Basınç Değerleri

Akış kayıplarının ve hidrostatik etkinin olmadığı kabul edilirse;

$$P_1 = P_2 = P_7 = P_{12} \text{ (kPa)} \quad (3.77)$$

3.4.2.9.8 Yüksek Basıncı Bölge İçin Basınç Değerleri

Akış kayıplarının ve hidrostatik etkinin olmadığı kabul edilirse;

$$P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = P_8 = P_9 = P_{10} = P_{11} \text{ (kPa)} \quad (3.78)$$

3.4.2.9.9 Enerji Dengesi

Amacı gereği ısı alışverişinde bulunması gereken bileşenlerin ilgili kısımları dışında cihaz içine veya dışına doğru herhangi bir ısı geçişinin meydana gelmediği kabul edilirse;

$$Q_L + W_P + Q_{SICAK} = Q_{ABSORBER} + Q_{AYIRICI} + Q_H \text{ (kW)} \quad (3.79)$$

olur.

3.4.2.9.1 Soğutma ve Isıtma Tesir Katsayıları

Soğutma yükü biliniyor ise soğutucu akışkan debisi, m_{10} hesaplanır ve m_{10} değeri sistemi oluşturan elemanların özgül ısı kapasiteleri ile çarpılarak her bir elemanın toplam ısı kapasitesi tespit edilmiş olur.

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin, soğutma tesir katsayısı (STK) değeri, birim iş başına yapılan soğutma olarak tarif edildiğinden aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$STK = \frac{Q_{buharlaştırıcı}}{Q_{kaynatıcı} + W_{Pompa}} \quad (3.80)$$

W_{Pompa} değeri çok küçük olduğundan genellikle ihmal edilir. Böylece STK ifadesi ;

$$STK = \frac{Q_{buharlaştırıcı}}{Q_{kaynatıcı}} \quad (3.81)$$

şeklini alır.

Isıtma tesir katsayısı (ITK) , birim iş başına yapılan ısıtma olarak tanımlanır ve;

$$ITK = \frac{Q_{Yoğuşturucu} + Q_{Absorber}}{Q_{kaynatıcı}} \quad (3.82)$$

şeklinde ifade edilir.

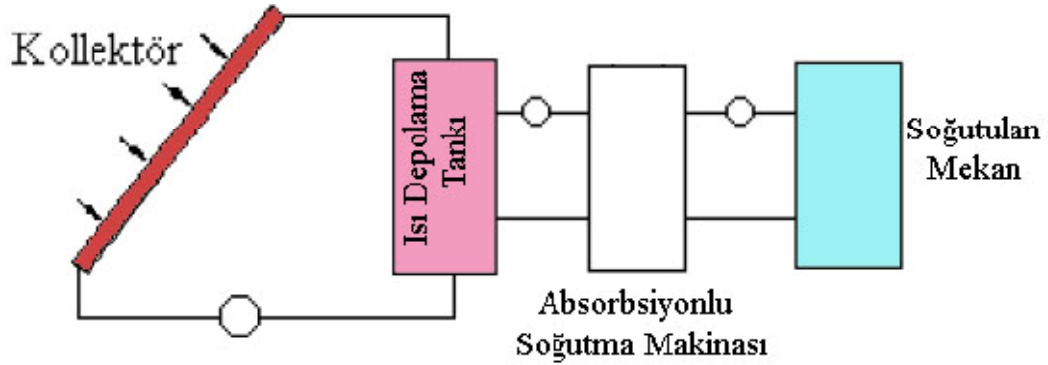
Yukarıda hesaplanan STK ve ITK değerlerinin ulaşabileceği maksimum değerler, aynı kaynaklar arasında çalışan ideal absorpsiyonlu soğutma sisteminin değerleridir ve gerçek değerlerin ideal değerlere mümkün olduğunca yaklaşması istenir.

Termodinamik analiz bölümünde izah edilen sistemin ana elemanlarının ısı kapasiteleri ve dolayısıyla STK ve ITK değerlerinin hesaplanabilmesi için eriyik konsantrasyonlarının ve her bir noktanın entalpi değerlerinin tespiti gerekmektedir. Eriyik konsantrasyonları ve sıcaklıklarının tespiti için basınç-sıcaklık diyagramları kullanılır. (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)

4 GÜNEŞ IŞINIMI HESABI

Güneş enerjisi kaynaklı Absorpsiyonlu soğutma sisteminde, güneş enerjisi ile ısıtılan sıcak su, kaynatıcıdaki soğurucu ve soğutucu akışkanı birbirinden ayırmak için kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi sistemi, kaynatıcıda kullanılan sıcak suyu depolayan, depolama tankı sıcaklığının anlık olarak tayini, belli bir bölgede birim yüzeye düşen anlık ışınım miktarı ve buna bağlı olarak kolektörlerde toplanan faydalı enerji miktarı ile hesaplanmaktadır.



Şekil 4.1 Güneş enerjili soğutma sistemi şematik görünümü. (Atmaca & Yiğit, 2002)

Şekil 4.2’de görülen, güneş ışınları ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar vardır. Bu açılar hakkında bilgi edinilerek güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilir.

ampirik Cooper formülü ile bulunabilir.

Çizelge 4.1 Aylık ortalama deklinasyon açısını veren günler (Kılıç & Öztürk, 1983)

	Denklem 4.1 e göre		
	Gün	n	δ (°)
Ocak	17	17	-20,92
Şubat	16	47	-13,29
Mart	16	75	-2,42
Nisan	15	105	9,41
Mayıs	15	135	18,79
Haziran	11	162	23,09
Temmuz	17	198	21,18
Ağustos	16	228	13,45
Eylül	15	258	2,22
Ekim	15	288	-9,60
Kasım	14	318	-18,91
Aralık	10	344	-23,05

Geliş açısı (θ) : Eğik yüzeyin dikeyi ile ışın arasındaki açıdır. Geliş açısının cosinüsü;

$$\cos \theta = \frac{\cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos h \cdot \cos S + \cos \gamma \cdot \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos h \cdot \sin S + \sin \gamma \cdot \cos \delta \cdot \sin h \cdot \sin S + \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos S - \cos \gamma \cdot \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin S}{\sin S} \quad (4.2)$$

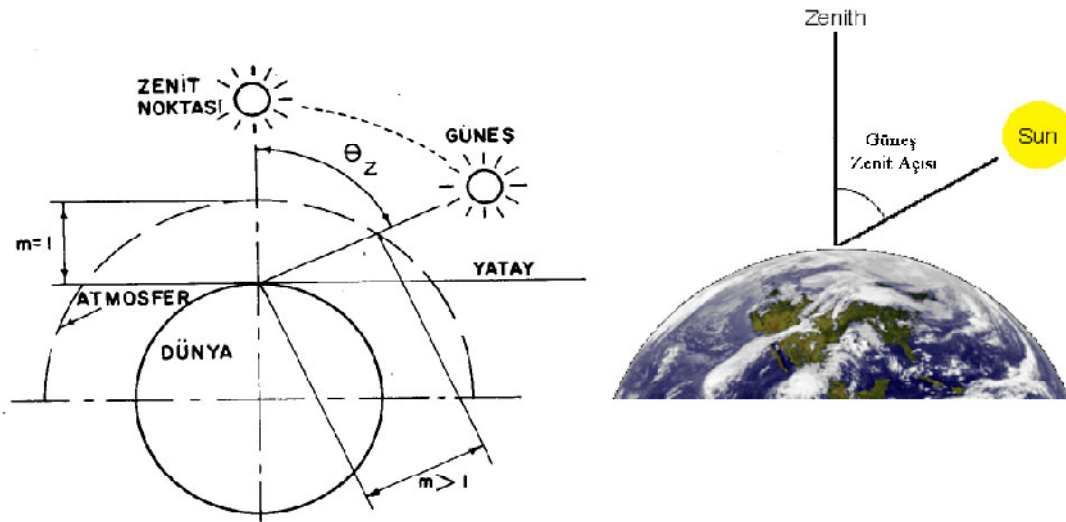
Denklemini ifade edilir. Güneye bakan yüzeylerde yüzey azimut açısı sıfır olduğundan denklem aşağıdaki hali alır:

$$\cos \theta = \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos h \cdot \cos S + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos h \cdot \sin S + \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos S - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin S$$

$$\cos \theta = \cos \delta \cdot \cos h \cdot \cos(\phi - S) + \sin \delta \cdot \sin(\phi - S) \quad (4.3)$$

Hava kütlesi (m) : Işın radyasyonunun geçtiği atmosfer kütlesinin, güneş tam tepede iken ışın radyasyonunun içinden geçeceği atmosfer kütlesine oranıdır.

Zenit açısı (θ_z) : Yatay yüzeyin normali ile güneş ışınları arasında oluşan açıdır. Yatay düzleme güneş ışınları dik geldiği zaman $z = 0^\circ$ dir. Güneşin doğuşunda ve batışında $z = 90^\circ$ olur.



Şekil 4.3 Zenit açısı (Kılıç & Öztürk, 1983)

Zenit açısının cosinüsü ;

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos h + \sin \delta \cdot \sin \Phi \quad (4.4)$$

olarak elde edilir.

Enlem açısı (Φ) : Ekvator düzlemi ile yerden dünyanın merkezine olan radyal çizgi arasındaki açıdır. Enlem açısı, kuzey yarım küre için artı değerli olup, -90° ile 90° arasında değişir.

Saat açısı (h) : Zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat 15° boylama eşittir. Öğleden evvel açı artı ve öğleden sonra eksi değer alır. Örneğin saat 10.00 için açı $+30^\circ$ ve saat 15.00 için -45° olur.

Güneşin doğduğu ve battığı anlarda ışınlar yatay düzleme paralel gelir. Güneş doğuş ve batış saat açısı aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$\cos h = -\frac{\sin \delta \cdot \sin \phi}{\cos \delta \cdot \cos \phi} = -\tan \delta \cdot \tan \phi \quad (4.5)$$

Eğim açısı (S) : Yatay yüzey ile eğik yüzey arasında kalan açıdır. Ekvatora yönelen yüzey için artı değer alır.

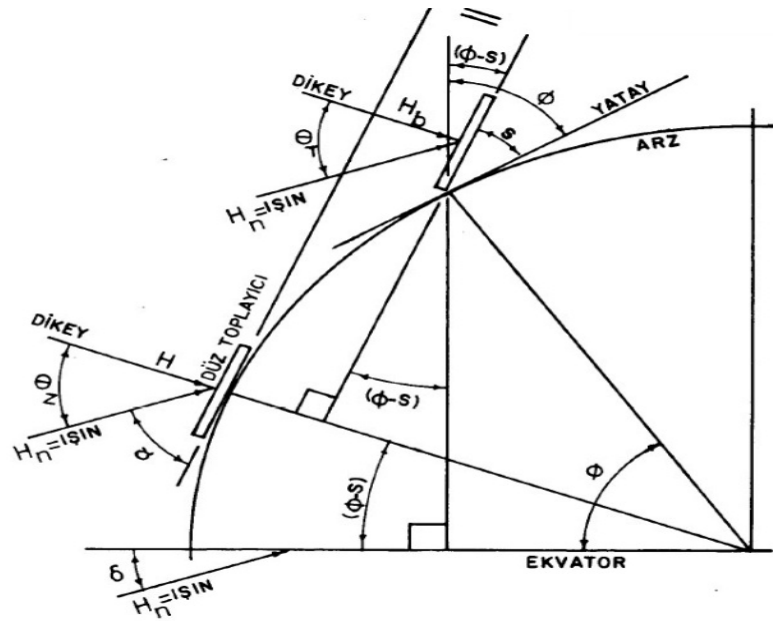
Güneş öğlesinde ($h=0$) maksimum güneş ışınlamı alan düzlem eğimi,

$$S = \phi - \delta \quad (4.6)$$

Güneye bakan düzlemler için aylık ortalama optimum eğim;

$$S_o = \phi - 1,5 \cdot \delta - \frac{|\delta| \cdot \phi}{180} \quad (4.7)$$

bağıntısı ile elde edilir. (Kılıç & Öztürk, 1983)



Şekil 4.4 Güneş açılarının birbirleriyle olan ilişkileri (Kılıç & Öztürk, 1983)

4.1 Atmosfer Dışındaki Düzlemlere Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesabında daha çok atmosfer dışında yatay düzleme gelen ışımandan yararlanır. Atmosfer dışında yatay birim düzleme bir anda gelen güneş ışınımı;

$$I_0 = I_{gs} \cdot f \cdot \cos \theta z \quad (4.8)$$

Burada ;

I_{gs} : Güneş sabiti (1353 W/m^2)

f : Güneş sabitini düzeltme faktörü

z : Zenit açısı (Güneş ışınlarının yatay düzlemin normali ile yaptığı açı)

Atmosfer dışındaki yatay birim düzleme dt zaman aralığında gelen güneş ışınımı;

$$dQ_0 = I_{gs} \cdot f \cdot \cos \theta_z \cdot dt \quad (4.9)$$

ile ifade edilir.

Saat açısı (h)'na bağlı olarak $t = 12/\pi \cdot h$ formülünden faydalanarak;

$$dQ_0 = \frac{12}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot f \cdot \cos \theta_z \cdot dh \quad (4.10)$$

Burada Zenit Açısı açılımını yerine konulursa;

$$Q_0 = \frac{12}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot f \int_{H_1}^{H_2} (\cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos h + \sin \delta \cdot \sin \Phi) dh$$

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot f \left(\cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \sin h + \frac{\pi}{180} \sin \delta \cdot \sin \Phi \right) \quad (4.11)$$

Bir gün boyunca gelen güneş ışınlamı;

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot f \cdot \sin \delta \cdot \sin \Phi \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot h - \tan h \right) \quad (4.12)$$

olarak elde edilir.

f güneş sabitini düzeltme faktörü, n 1 ocaktan itibaren gün sayısı olmak üzere;

$$f = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(360 \cdot \frac{n}{365} \right) \quad (4.13)$$

şeklinde ifade edilebilir. (Kılıç & Öztürk, 1983)

Bu hesaplamalara örnek verecek olursak;

Enlemi 40° Kuzey olan bir yerde haziran ayında atmosfer dışında birim yatay düzleme gelen aylık ortalama güneş ışınım miktarı şöyle hesaplanabilir:

Verilenler:

Haziran ayı için aylık ortalama gün sayısı	n	: 162
Haziran ayı için deklinasyon açısı	δ	: $23,09^\circ$
Enlem Açısı	ϕ	: 40°
Güneş sabiti)	I_{gs}	: 1353 W/m^2

Saat açısı :

$$\cos h = -\frac{\sin \delta \cdot \sin \phi}{\cos \delta \cdot \cos \phi} = -\tan \delta \cdot \tan \phi$$

$$\cos h = -\tan 23,09 \cdot \tan 40$$

$$h = 110,96^\circ$$

f güneş sabitini düzeltme faktörü:

$$f = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(360 \cdot \frac{n}{365} \right)$$

$$f = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(360 \cdot \frac{162}{365} \right)$$

$$f = 0,969$$

Zenit açısının cosinüsü:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos h + \sin \delta \cdot \sin \Phi$$

$$\cos \theta_z = \cos 23,09 \cdot \cos 40 \cdot \cos 110,96 + \sin 23,09 \cdot \sin 40$$

$$\cos \theta_z = 0,78$$

Bir anda gelen güneş ışınımı miktarı:

$$I_0 = I_{gs} \cdot f \cdot \cos \theta z$$

$$I_0 = 1353 \cdot 0,969 \cdot 0,78$$

$$I_0 = 1022,62 \text{ W/m}^2$$

Aylık Ortalama Güneş Işınım Miktarı :

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot f \cdot \sin \delta \cdot \sin \Phi \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot h - \tan h \right)$$

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} \cdot (1353 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,969 \cdot \sin 23,09 \cdot \sin 40 \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot 110,96 - \tan 110,96 \right)$$

$$Q_0 = 41,33 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$$

4.2 Atmosfer Dışında Eğik Düzlemlere Gelen Güneş Işınımı

Atmosfer dışında eğik düzlemlere gelen güneş ışınım şiddeti, güneş ışınımın geliş açısına bağlı olarak değişir. Güneş ışını geliş açısı θ olmak üzere, eğik düzleme bir anda bir anda gelen güneş ışınımı;

$$I_{OE} = I_{GS} \cdot f \cdot \cos \theta \quad (4.14)$$

Güneş ışını ilk ve son geliş saat açıları H_1 ve H_2 arasında integre edilerek bir gün boyunca eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı elde edilir:

$$Q_{OE} = \frac{12}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot f \int_{H_1}^{H_2} \cos \theta \, dh \quad (4.15)$$

Geliş açısının cosinüs değeri yerine konulursa,

$$Q_{OE} = \frac{12}{\pi} I_{gs} f \left[\frac{\pi}{180} (H_2 - H_1) \cdot \sin \delta \cdot (\sin \Phi \cdot \cos S - \cos \Phi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma) + (\sin H_2 - \sin H_1) \cdot \cos \delta \cdot (\cos \Phi \cdot \cos S \cdot \sin \Phi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma) - (\cos H_2 - \cos H_1) \cdot \cos \delta \cdot \sin S \cdot \sin \gamma \right] \quad (4.16)$$

Kuzey-Güny doğrultusundaki yüzey azimut açısı $\gamma=0$

Saat açıları $H_1 = -H_2$ olduğundan;

Eğik bir düzleme gelen güneş ışınım şiddeti:

$$Q_{OE} = \frac{24}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot f \cdot \left[\cos(\Phi - S) \cdot \cos \delta \cdot \sin H_2 + \frac{\pi}{180} \cdot H_2 \cdot \sin(\Phi - S) \cdot \sin \delta \right] \quad (4.17)$$

denklemini ile bulunur.

4.3 Yeryüzünde Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Tüm Güneş Işınımı

Güneş gözlem sistemlerinin, meteorolojik gözlem cihazları içerisinde hemen hemen en pahalı cihazlar olması, gözlem istasyonlarının sıklığını da etkilemiştir. Gözlem cihazlarının pahalılığı, cihazların bakım ve kalibrasyonu, veri iletimindeki problemler ve gerekli insan gücü, yeterli sayıda gözlem istasyonlarının kurulmasını ve işletimini olumsuz etkilemektedir. Güneş gözlemi yapan istasyonlar arasında, 300 km ve daha uzak mesafeler olmasındaki gerçekler bunlardır.

Günlük tüm güneş ışınımı Prescott, Angstrom eşitliği adı verilen şu bağıntı ile elde edilir;

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \cdot \frac{t}{t_0} \quad (4.18)$$

Burada;

Q : Yatay birim düzleme gelen günlük tüm güneş ışınımı

Q_0 : Atmosferin dışına gelen güneş ışınımı

t : Güneşlenme süresi

t_0 : Atmosferik güneşlenme süresi

Bu denklem Angström-Prescott formülü olarak bilinir (Aksoy, Ener, & Akınoğlu, 2010).

a ve b Angstrom katsayılarıdır ve Türkiye için pratik olarak aşağıdaki bağıntılarla elde edilir (Kılıç & Öztürk, 1983);

$$a = 0,103 + 0,000017 \cdot Z + 0,198 \cos(\theta - \delta) \quad (4.19)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(\theta - \delta) \quad (4.20)$$

Z , metre cinsinden deniz seviyesinden yüksekliği, θ enlem açısını, δ ise deklinasyon açısını ifade etmektedir.

Kılıç tarafından angstrom denklemi üzerinden geliştirilen tüm güneş ışınımının hesaplanabileceği denklem şöyle ifade edilmiştir;

$$\frac{Q}{Q_0} = \left[\frac{t}{t_0} (0,594 - 0,0037w + 0,197 \ln \cos(\theta - \delta)) \right]^{1/2} \quad (4.21)$$

Burada; w , yoğuşturulabilir su buharı miktarını (mm), θ enlem açısını, δ ise deklinasyon açısını ifade etmektedir. Denklem (4.21) kullanılarak hesaplanan tüm güneş ışınımının bazı istasyonlardaki değerlerine ait tablolar EK-5 'te verilmiştir.

Anlık tüm güneş ışınımının (I), günlük toplam güneş ışınımına (Q) oranı, gün boyunca anlık tüm güneş ışınımının varsayılan eksponansiyel ve sinüzoidal değişimleri de göz önüne alınarak şöyle ifade edilir (Kılıç & Öztürk, 1983).;

$$r_t = \frac{I}{Q} = \frac{\pi}{4t_o} \left[\cos\left(\frac{180}{2} \cdot \frac{h}{H}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \Psi) \right] \quad (4.22)$$

Burada;

t_o : Gün uzunluğu

H : Güneşin batış saati

h : Saat açısı

Güneşin doğuşu ve batışı arasındaki eksponansiyel değişimin ifadesi Ψ ;

$$\Psi = \exp \left[-4 \left(1 - \frac{|h|^2}{H} \right) \right] \quad (4.23)$$

4.4 Yeryüzünde Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Direkt Güneş Işınımı

Belli bir yerde, bir gün boyunca yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ortalama direkt güneş ışınımı teorik olarak şu bağıntıyla hesaplanır;

$$Q_d = \frac{t}{t_o} Q_o [0,6714 - 0,00423 w + 0,223 \ln \cos(\theta - \delta)] \quad (4.24)$$

Günlük direkt ya da yayılı güneş ışınımının hesaplanabileceği iki bağıntı Yatay düzleme gelen yayılı ışınımın, tüm güneş ışınımına oranı veya beraklık indeksidir;

$$K_Y = \frac{Q_Y}{Q} \quad (4.25)$$

$$K_t = \frac{Q}{Q_o} \quad (4.26)$$

Yayıllı ışınım oranının, berraklık indeksine göre değişimi ise şöyle ifade edilmiştir;

$$K_Y = 1 - 1,13 \cdot K_t \quad (4.27)$$

Bir anda birim yatay düzleme gelen aylık ortalama yayıllı ışınımın (I_Y) günlük toplam yayıllı ışınımına (Q_Y) oranı (r_y), genellikle bir anda atmosfer dışında yatay düzleme gelen ışınımın (I_O) atmosfer dışında bir gün boyunca gelen ışınımına (Q_O) oranına eşit alınmaktadır;

$$r_y = \frac{I_Y}{Q_Y} = \frac{I_O}{Q_O} \quad (4.28)$$

Denklemden I_O ve Q_O denklemleri yerine konulduğunda;

$$r_y = \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos h - \cos H}{\sin H - \frac{\pi}{180} \cdot H \cdot \cos H} \quad (4.29)$$

elde edilir.

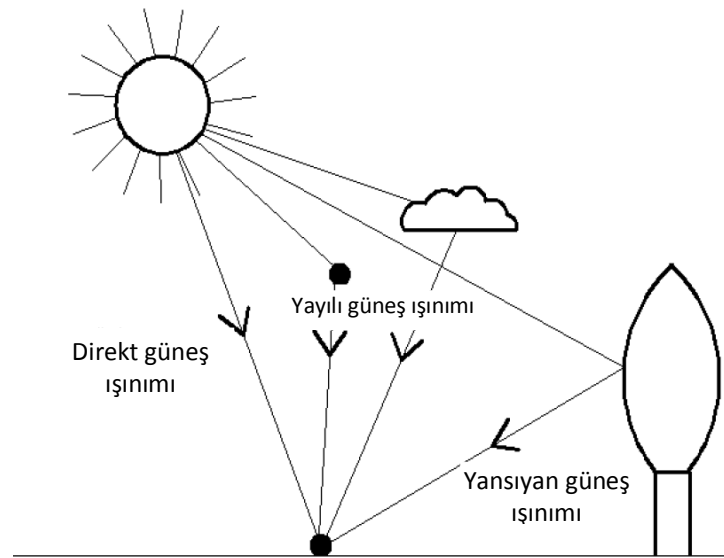
Anlık direkt güneş ışınımı I_d , tüm güneş ışınımı I , yayıllı ışınım I_Y olmak üzere aşağıdaki ifade ile hesaplanır (Kılıç & Öztürk, 1983) ;

$$I_d = I - I_Y = r_t \cdot Q - r_y \cdot Q_Y \quad (4.30)$$

4.5 Yeryüzünde Eğik Düzleme Gelen Anlık Direkt Güneş Işınımı

Eğik düzleme gelen güneş ışınım miktarı, düzlemin eğimine, azimut açısına, çevrenin yansıtma katsayısına ve yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımının direkt ve yayıllı bileşenlerinin miktarına bağlıdır (Kılıç & Öztürk, 1983).

Eğimli yüzeye gelen güneş ışınımı, hesaplamalarda önemli ve temel parametredir. Yeryüzündeki herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışınımı, direkt, yayılı ve yansıyan ışınımlardan oluşur.



Şekil 4.5 Yeryüzüne gelen güneş ışınımı türleri (Bulut, 2008)

Eğik yüzeye gelen saatlik toplam güneş ışınımı; eğik yüzeye gelen saatlik direkt, yayılı ve yansıyan ışınımların toplamıyla hesaplanır (Bulut, 2008).

Eğik düzlem üzerine gelen toplam anlık ışınım miktarı;

$$I_e = I_{de} + I_{ye} + I_{ya} \quad (4.31)$$

Eğik düzleme gelen anlık direkt güneş ışınım miktarı;

$$I_{de} = I_n \cdot \cos \theta \quad (4.32)$$

Yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınım miktarı;

$$I_d = I_n \cdot \cos \theta_z \quad (4.33)$$

Burada;

I_n : Güneş ışınımına dik birim düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı

θ : Güneş ışınımının eğik düzleme geliş açısı

θ_z : Zenit açısı

Bu iki ifadenin birbirine oranı;

$$R_d = \frac{I_{de}}{I_d} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (4.34)$$

Geliş açısının cosinüsü ve zenit açısının cosünüsü ifadeleri denklemde yerine konulduğunda;

$$R_d = \frac{\cos(\phi - s) \cdot \cos \delta \cdot \cos h + \sin(\phi - s) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos h + \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (4.35)$$

Eğik düzlem üzerine gelen toplam ışınım, direkt ve yayılı güneş ışınimleri ile yansarak gelen ışınımın toplamıdır.

Yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınımı I_y ve düzlemin eğimi s olmak üzere eğik düzleme gelen anlık yayılı ışınım I_{ye} ;

$$I_{ye} = I_y \cdot \frac{1 + \cos s}{2} \quad (4.36)$$

Çevrenin yansıtma oranı ρ ve yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı I olmak üzere eğik düzleme yansarak gelen ışınım;

$$I_{ya} = I \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos s}{2} \quad (4.37)$$

şeklinde yazılabilir.

Çevrenin yansıtma oranı ρ , bitki örtüsüne, çevrenin topoğrafik yapısına ve kar durumuna göre değişiklik gösterir ve ortalama değeri 0,2 civarındadır.

Düzlemin eğimi arttıkça, düzleme gelen yayılı ışınım miktarı azalırken, yansıyarak gelen ışınım miktarı artmaktadır (Kılıç & Öztürk, 1983).

4.6 Yeryüzünde Eğik Düzleme Gelen Günlük Direkt ve Toplam Güneş Işınımı

Bir gün boyunca eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımının, bir gün boyunca yatay düzleme gelen direkt güneş ışınımına oranının; atmosfer dışında bir gün boyunca yatay düzleme gelen güneş ışınımının bir gün boyunca yatay düzleme gelen güneş ışınımına oranına eşit alındığından, güneş ışınımının eğik düzleme ilk geliş saat açısı H_1 ve son geliş saat açısı H_2 olmak üzere, \bar{R}_d ;

$$\bar{R}_d = \frac{Q_E}{Q} = \frac{Q_{OE}}{Q_0} = \frac{\int_{H_1}^{H_2} \cos \theta \, dh}{\int_{-H}^H \cos \theta_z \, dh} \quad (4.38)$$

şeklinde yazılabilir. Geliş açısının ve zenit açısının cosinus denklemleri formülde yerine yazılıp denklem güneşe dönük ($\alpha=0$) düzlemler için integre edildiğinde:

$$\bar{R}_{dg} = \frac{\cos(\phi - S) \cdot \cos \delta \cdot \sin H_g + \frac{\pi}{180} \cdot H_g \cdot \sin(\phi - S) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin H + \frac{\pi}{180} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (4.39)$$

elde edilir. Burada;

$$H_g = \min|\cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi - S) \cdot \tan \delta)| \quad (4.40)$$

'dir.

Eğik düzleme bir gün boyunca gelen toplam ışınımın yatay düzleme bir gün boyunca gelen ışınımına oranı ise,

$$\bar{R}_{dg} = \frac{Q_E}{Q} = \bar{R}_{dg} \cdot \frac{Q_D}{Q} + \frac{Q_Y}{Q} \cdot \frac{1+\cos S}{2} + \rho \cdot \frac{1-\cos S}{2} \quad (4.41)$$

şeklinde yazılabilir. Böylece bir gün boyunca yatay düzleme gelen direkt ve tüm güneş ışınları biliniyorken eğik düzleme gelen güneş ışınımı hesaplanabilmektedir (Kılıç & Öztürk, 1983).

4.7 Kolektör Yüzeyi Hesabı

Kolektörlerden elde edilen faydalı enerji (Viessmann, 2012);

$$Q_f = \eta_{kolektör} \cdot A_{kolektör} \cdot I_E \quad (4.42)$$

denklemini ile elde edilir. Burada,

$\eta_{kolektör}$: Kolektör verimi

$A_{kolektör}$: Kolektör yüzeyi (m²)

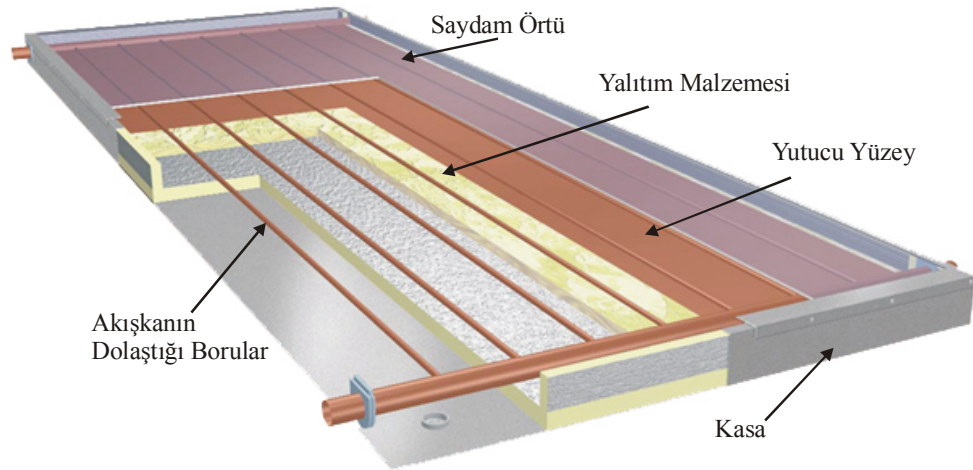
I_E : Anlık güneş ışınımı (W/ m²) 'dır.

5 GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ

Güneş kolektörleri genel olarak düzlemsel ve vakum tüplü olmak üzere iki şekilde sınıflandırılır.

5.1 Düzlemsel Güneş Kolektörleri

Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş enerjisinin toplandığı ve bu enerjinin bir akışkana aktarıldığı kolektörlerdir. Düzlemsel kolektörlerin temelini absorber denilen yutucu yüzey oluşturmaktadır. Burada önemli olan yutucu yüzeyin absorbe etme özelliğinin iyi olması yanında ısıl radyasyonunun da düşük olmasıdır. Isı kayıplarının en az seviyede olması için kolektör gövdesinin ısı izolasyonunun yüksek kaliteli, gaz atmaz nitelikte ve sıcaklığa dayanıklı olması gerekmektedir (Viessmann, 2012).



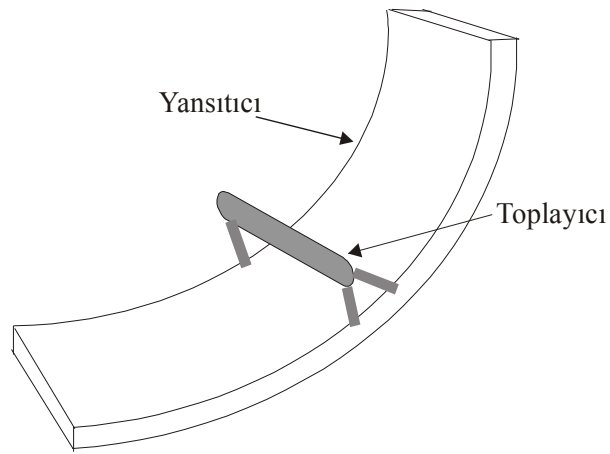
Şekil 5.1 Düzlemsel güneş kolektörü (Çetiner & Bulut)

Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş ışınımından kazandıkları enerjiyi bir akışkana veren bir çeşit ısı değiştiricisi olarak kabul edilebilir. Düz toplayıcılar toplam güneş ışınımını kullanarak çalışırken, geliştirilen yoğunlaştırıcı kolektörler genellikle

direkt güneş ışınımını kullanırlar. Kolektörlerden daha yüksek sıcaklıklar elde etmek için düz toplayıcılar yerine ışınımı belli bir noktada toplamak için değişik geometrili odaklayıcılar kullanılarak kızgın su, doymuş buhar ve kızgın buharın elde edilmesi mümkün olmaktadır (Çetiner & Bulut). Bu sistemler için yoğunlaştırıcı sistemler ifadesi kullanılmaktadır.

5.1.1 Doğrusal Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörleri

Parabolik oluk kolektörler, doğrusal yoğunlaştırma yapan ve kesiti parabolik olan dizilerden oluşur. Oluğun iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini parabolün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya yansıtır.



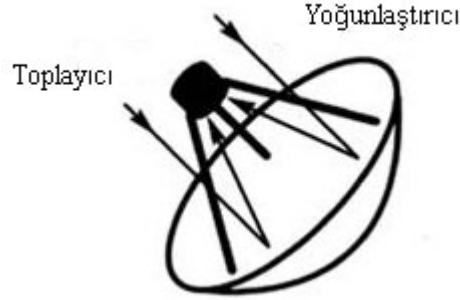
Şekil 5.2 Çizgi odaklamalı yoğunlaştırma (Çetiner & Bulut)

Orta derecede sıcaklık isteyen uygulamalarda kullanılan bu sistemlerde, güneş enerjisi bir doğru üzerinde yoğunlaştırılacağından tek boyutlu hareket ile güneşi izlemek yeterlidir. (EİE, 2012)

5.1.2 İki Eksende Güneş İzleyici Sistemler

İki boyutta güneşi izleyip noktasal yoğunlaştırma yapan ve daha yüksek sıcaklıklara ulaşan bu tür sistemler, parabolik çanak ve merkezi alıcı olmak üzere iki gruba ayrılır. (EİE, 2012)

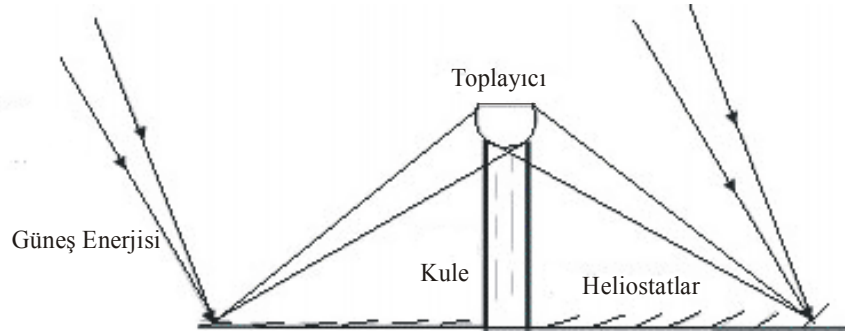
Parabolik çanak sistemler, iki eksende güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar.



Şekil 5.3 Nokta odaklamalı yoğunlaştırma (paraboloid) (Çetiner & Bulut)

Şekil 5.3'ten de görüldüğü gibi güneşi iki eksende izleyen paraboloid (çanak) yüzeyli aynalardan gelen ışınlar sürekli olarak odak noktasına yoğunlaştırılırlar (Çetiner & Bulut).

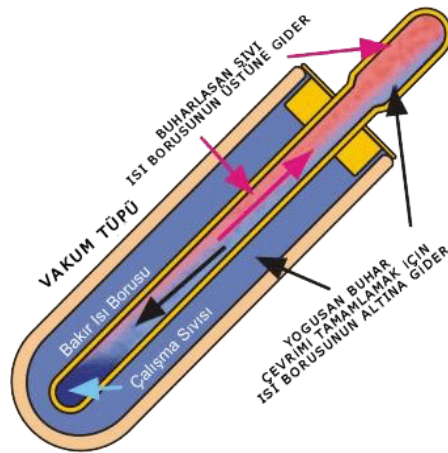
Merkezi alıcı sistemde, Şekil 5.4'te de görüldüğü gibi tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen düzlemsel aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, bir kule üzerine monte edilmiş ve alıcı denilen ısı eşanjörüne yansıtır. Heliostatlar bilgisayar tarafından kontrol edilerek, alıcının devamlı güneş alması sağlanır (EİE, 2012).



Şekil 5.4 Heliostat aynalarla gelen güneş ışınlarının odaklanması (Çetiner & Bulut)

5.2 Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri

Vakum tüplü güneş kolektörleri iç içe geçmiş iki borosilikat cam (borcam) tüpten oluşmaktadır. İki tüp arasındaki vakum sayesinde ısı kaybı minimum düzeye indirilmiştir. İçteki tüpün dışı püskürtme yöntemi ile Al-N/Al (Alüminyum Nitrür) kaplanmıştır. Bu seçici yüzey sayesinde tüpe gelen ışınların % 93'ü mükemmel bir şekilde emilip ısıya çevrilmektedir. İki tüpün arasındaki havanın alınmasından dolayı oluşan vakum bir termos gibi, ısıl enerjiyi koruyarak, verimi artırmaktadır (Çetiner & Bulut).



Şekil 5.5 Vakum borulu güneş kolektörü (Çetiner & Bulut)

6 GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ABSORPSİYONLU SOĞUTMA UYGULAMASI

Güneş enerjisi ile soğutma üzerine ilgi özellikle son yıllarda bütün dünyada artmıştır. Güneş enerjisi ile soğutmayı hayata geçirebilmek için üniversitelerde, araştırma kuruluşlarında ve özel sektörde bazı projeler yürütülmektedir. Bu çalışmalardan en kapsamlılarından birisi Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından organize edilen TASK 25 adlı projedir. Bu projede, Güneş enerjisi destekli soğutma sistemlerinin ticari olarak üretilebilecek seviyeye getirilmesi amaçlanmaktadır. Maalesef ülkemizden hiçbir kuruluşun katılmadığı bu projede, birçok ülkeden değişik kuruluşlar yer almaktadır.

Fransa'da özellikle son 15 yılda Güneş enerjisi destekli bazı soğutma sistemleri ve prototipler imal edilmiş ve denenmiştir. Bunların birçoğu karmaşık sistemler olup, genellikle kullanım aşamasında bazı zorluklar çıkarmışlardır. Bunların içerisinde başarıyla uygulanan tek ticari boyuttaki uygulama Güney Fransa'da 1992'de inşa edilen 50 kW'lık bir soğutma kapasitesine sahip sistemdir. Bu sistemde 130 m² vakum tüplü güneş kolektörü kullanılmıştır. Almanya'da 1991 yılından itibaren federal hükümet güneş enerjisi ile soğutma araştırmalarını desteklemektedir. Bu çerçevede bazı örnek sistemler (eğitim ve uygulama amaçlı) imal edilmiş ve denenmiştir. Bu sistemler genellikle absorpsiyonlu (genellikle su-LiBr), adsorpsiyonlu (silikagel) veya nem almalı (desisif) soğutma teknolojilerini kullanmışlardır. İmal edilen sistemlerin kapasiteleri 7 ile 247 kW arasında değişmektedir. 1 kW'lık soğutma için tesis edilen kolektör yüzey alanı 0.5 m² ile 8 m² arasında değişmektedir.

Japonya'da güneş enerjisi ile soğutma çalışmaları 1974 yılında başlamış ve daha sonra özellikle büyük mağaza ve depoların soğutulmasına yönelik olarak bazı projeler gerçekleştirilmiştir. Kurulan sistemlerin kapasiteleri 35 ile 106 kW arasında ve verimleri % 70 mertebesinde. Hollanda'da 1996 yılında, ticari boyutta ilk desisif soğutma sistemi bir ofis binasına uygulanmıştır. Bu sistem binaya saatte 8500 m³ hava

göndermektedir. Portekiz’de son 10 yıl içerisinde 5 kW ile 60 kW arasında kapasitelerde değişen 4 adet sistem imal edilmiştir. Bunların iki tanesi desisif, iki tanesi de absorpsiyonlu soğutma cevrimi kullanmışlardır.

Türkiye’de güneş enerjisi ile soğutma çalışmaları genelde üniversite ve devlete bağlı araştırma kuruluşlarında yapılmaktadır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) da LiBr/H₂O ile çalışan küçük ölçekli bir absorpsiyonlu soğutma sistemi kurulmuş ve denenmiştir. (Büyükalaca & Tuncay, 1999)

6.1 Eskişehir İli İçin Örnek Çalışma

Absorpsiyonlu soğutma makinelerinin soğutma kapasiteleri ortalama olarak 15 kW ile 5 MW arasında değişmektedir. Tek etkili absorpsiyonlu soğutma makinelerinde ısı kaynağından beklenen sıcaklık değeri 80 °C den daha büyüktür ve etkinlik katsayısı olan COP değeri 0,6 ila 0,8 arasında değişmektedir. (Desideri, Proietti, & Sdringola, 2009)

Soğutma sıcaklığı genel olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir:

- 4/25 °C (iklimlendirme)
- -10/4 °C (genel amaçlı soğutma)
- -20/-10 °C (düşük sıcaklık uygulamaları)

NH₃-H₂O’lu absorpsiyonlu soğutma sistemi, LiBr/H₂O’ lu sistemlerden daha karmaşık olup, gerekli kaynatıcı sıcaklığı, su soğutmalı soğurucu ve yoğunlaştırucu sistemlerde 95-120 °C, hava soğutmalı sistemlerde ise 125-170 °C mertebesindedir. Bu sıcaklıkları elde edebilmek için daha pahalı olan vakum tüplü veya parabolik güneş kolektörlerinin kullanılması gereklidir. (Büyükalaca & Tuncay, 1999)

Enlem açısı 39°46’ olan Eskişehir ilinde 1000 m² kullanım alanı bulunan bir kafeterya binasının Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında güneş enerjisi kullanılarak tasarlanmış NH₃-H₂O akışkan çiftli absorpsiyonlu soğutma sistemi ile iklimlendirme

yapılması için ısı kazancı ve soğutma yükü hesapları ASHRAE Standartları çerçevesinde Dipro MTH V2,4 programı ile yapılarak pik yük 120 kW olarak elde edilmiştir.

Sistem hesabına buharlaştırıcı (evaporatör) sıcaklığı ile yoğuşturucu (kondanser) sıcaklığının seçilmesi ile başlanır. (Aybers, 1992). İstenilen soğutma yükü evaporatörden karşılanacağından soğutma yükü ile soğutma kapasitesi aynı değere karşılık gelmektedir.

Veriler:

1. Soğutma Kapasitesi : 120 kW
2. Kondenzasyon sıcaklığı : 30 °C
3. Kondenzasyon basıncı : 1166,49 kPa
4. Kondansere giren doymuş
amonyak buharının entalpisi : 1647,49 kJ/kg
5. Kondanserden çıkan doymuş
amonyak sıvısının entalpisi : 322,9 kJ/kg
6. Evaporasyon sıcaklığı : 5 °C
7. Evaporasyon Basıncı : 573,64 kPa
8. Evaporatöre giren doymuş
amonyak sıvısının entalpisi : 322,9 kJ/kg
9. Evaporatörden çıkan doymuş
amonyak buharının entalpisi : 1510,32 kJ/kg
10. Absorber Sıcaklığı : 30 °C
11. Absorber Basıncı : 573,64 kPa
12. Absorbere giren doymuş
amonyak buharının entalpisi : 1510,32 kJ/kg

13. Absorbere giren amonyakça fakir eriyik entalpisi : 198 kJ/kg
14. Absorbere giren amonyakça fakir eriyik konsantrasyonu : 0,35
15. Absorberden çıkan amonyakça zengin eriyik entalpisi : -95 kJ/kg
16. Absorberden çıkan zengin eriyik konsantrasyonu : 0,56
17. Kaynaticı Sıcaklığı : 95 °C
18. Kaynaticı Basıncı : 1166,49 kPa
19. Kaynaticıya giren zengin eriyik entalpisi : 1884 kJ/kg
20. Kaynaticıdan çıkan amonyakça fakir eriyik entalpisi : 83 kJ/kg
21. Kaynaticıdan çıkan kızgın amonyak buharının entalpisi : 1647,49 kJ/kg
22. Enlem açısı : $\phi = 39^{\circ}46'$ Kuzey
23. I_{gs} : 1353 W/m²
24. Kolektör eğimi S : 15° (Güneye dönük)

Kaynaticıdan ayrılan soğutucu akışkan NH₃ oranının % 100 (Y₁=1) olduğu durumda

Hesaplamalar:

120 kW soğutma kapasiteli sistemdeki akışkanın kütle debisi;

$$Q_L = \dot{m}_{12} \cdot (h_{12} - h_1)$$

$$\dot{m}_{12} = \frac{Q_L}{(h_{12} - h_1)}$$

$$\dot{m}_{12} = \frac{120 \text{ kW} * 3600 \text{ kJ/h}}{(1510,32 - 322,9) \text{ kJ/kg}} = 363,81 \text{ kg/h}$$

Amonyakça zengin eriyik ile soğutucu akışkan buharı arasındaki sistemin çevrim oranı;

$$f = \frac{\text{Zengin Eriyik Debisi}}{\text{Soğutucu Akışkan Debisi}} = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} = \frac{Y_1 - X_7}{X_2 - X_7}$$

$$f = \frac{1 - 0,35}{0,56 - 0,35} = 3,09$$

Amonyakça zengin eriyik kütleli debisi;

$$\dot{m}_2 = f \cdot \dot{m}_1 = 3,09 \times 363,81 = 1124,17 \text{ kg/h}$$

Amonyakça fakir eriyik kütleli debisi;

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_2 - \dot{m}_1 = 1124,17 - 363,81 = 760,36 \text{ kg/h}$$

Yoğuşturucudan (Kondanserden) çekilen ısı;

$$Q_H = \dot{m}_{10} (h_{10} - h_{11})$$

$$Q_H = 363,81 \cdot (1647,49 - 322,9) = 481899,08 \text{ kJ/h}$$

$$Q_H = 133,86 \text{ kW}$$

Absorberden çekilen ısı;

$$Q_{\text{absorber}} = \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_7 \cdot h_7 - \dot{m}_2 \cdot h_2$$

$$Q_{\text{absorber}} = 363,81 \cdot 1510,32 + 760,36 \cdot 198 - 1124,17 \cdot (-95)$$

$$Q_{\text{absorber}} = 363,81 \cdot 1510,32 + 760,36 \cdot 198 - 1124,17 \cdot (-95)$$

$$Q_{\text{absorber}} = 806867,30 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{\text{absorber}} = 224,23 \text{ kW}$$

Pompa Gücü;

$$W_{\text{pompa}} = \dot{m}_2 \cdot v_2 (P_3 - P_2)$$

$$W_{\text{pompa}} = 1124,17 \cdot 0,00137 \cdot (1166,49 - 573,64)$$

$$W_{\text{pompa}} = 1124,17 \cdot 0,00137 \cdot (1166,49 - 573,64) = 913,06 \text{ kJ/h}$$

$$W_{\text{pompa}} = 0,25 \text{ kW}$$

Termodinamiğin I. Yasasına göre;

$$Q_L + W_P + Q_{\text{SICAK}} = Q_{\text{absorber}} + Q_H \quad (\text{kW})$$

$$120 + 0,25 + Q_{\text{SICAK}} = 224,23 + 133,86 \quad (\text{kW})$$

$$120 + 0,25 + Q_{\text{SICAK}} = 224,23 + 133,86 \quad (\text{kW})$$

$$Q_{\text{SICAK}} = 237,84 \quad (\text{kW})$$

kaynatıcıya sağlanması gereken enerji **237,84 kW** olarak hesaplanır.

Sistemin soğutma tesir katsayısı;

$$STK = \frac{Q_L}{Q_{\text{ISITICI}}} = \frac{120}{237,85} = 0,504$$

olarak hesaplanır.

Güneş Enerjisi Hesaplamaları;

Eskişehir ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan, 1975-2010 yılları arasındaki istatistikî verilere göre ortalama aylık sıcaklıklar ve ortalama güneşlenme süreleri şöyledir;

Çizelge 6.1 Eskişehir için aylık ortalama sıcaklık ve güneşlenme süreleri (EİE)

ESKİŞEHİR	Haziran	Temmuz	Ağustos
Ortalama Sıcaklık (°C)	19,1	21,7	21,4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat) t	10,3	11,4	10,7
İzafi Güneşlenme Süresi t/t ₀	0,71	0,82	0,80

Kolektör eğiminin belirlenmesi;

Güneş öğlesinde (h=0) maksimum güneş ışınımı alan düzlem eğimi denklem (4.6),

$$S = \phi - \delta$$

Güneye bakan düzlemler için aylık ortalama optimum eğim denklem (4.7);

$$S_o = \phi - 1,5 \cdot \delta - \frac{|\delta| \cdot \phi}{180}$$

ile çizelge 6.2’de gösterildiği gibi hesaplanır.

Çizelge 6.2 Optimum düzlem eğimleri

	Gün	n	δ (°)	φ	S	So
Haziran	11	162	23,09	39,5°	16,41	-0,20
Temmuz	17	198	21,18	39,5°	18,32	3,08
Ağustos	16	228	13,45	39,5°	26,05	16,37
ortalama					20,26	6,42

Çizelge 6.2'den de görüleceği gibi güneş öğlesinde ve bir gün boyunca maksimum ışınım alan düzlemlerin eğimleri arasında büyük fark oluşmaktadır. Bu nedenle düzlem eğimlerinin çok hassas hesaplanması gerekmemektedir. (Kılıç & Öztürk, 1983)

Ortalama düzlem eğimi $6,42^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Ancak yukarıda açıklanan nedenle bu örnekte soğutma için kullanılacak **düzlem eğimini 15°** olarak seçelim.

Atmosfer dışındaki düzleme bir gün boyunca gelen ortalama güneş ışınım miktarı denklem (4.12);

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} \cdot I_{gs} \cdot f \cdot \sin \delta \cdot \sin \Phi \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot h - \tan h \right)$$

$$f = 1 + 0,033 \cdot \cos \left(360 \cdot \frac{n}{365} \right)$$

$$\cos h = - \frac{\sin \delta \cdot \sin \phi}{\cos \delta \cdot \cos \phi} = - \tan \delta \cdot \tan \phi$$

yardımı ile hesaplanıp çizelge-6.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 Atmosfer dışındaki düzleme bir gün boyunca gelen güneş ışınım miktarı

$\phi=39,5^\circ$ Eskişehir	n	δ ($^\circ$)	f	$h(H)$	θ_z	$Q_0(MJ/m^2-$ $gün)$
Haziran	162	23,09	0,969	110,57°	90°	41,33
Temmuz	198	21,18	0,968	108,63°	90°	40,25
Ağustos	228	13,45	0,976	101,37°	90°	36,23

Yatay düzleme bir gün boyunca gelen tüm güneş ışınım miktarı (Q) denklem (4.18)'de verilen Angstrom yöntemi;

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \cdot \frac{t}{t_0}$$

$$a = 0,103 + 0,000017 \cdot Z + 0,198 \cos(\theta - \delta)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(\theta - \delta)$$

yardımıyla hesaplanır.

Yatay düzleme bir gün boyunca gelen direkt güneş ışınım miktarı (Q_D) denklem (4.24)

$$Q_d = \frac{t}{t_0} Q_0 [0,6714 - 0,00423 w + 0,223 \ln \cos(\theta - \delta)]$$

yardımıyla hesaplanır.

Denklem (4.12), (4.18) ve (4.24) ile hesaplanan değerler çizelge 6.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 Eskişehir ili için bir gün boyunca tüm, direkt ve atmosfer dışına ortalama güneş ışınım miktarları

ESKİŞEHİR		HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS
$\phi: 39,5^\circ$	Q (MJ/m ² -gün)	23,72	24,77	22,04
	Q _D (MJ/m ² -gün)	14,6	16,2	13,9
Z=800	Q ₀ (MJ/m ² -gün)	41,33	40,25	36,23
	t/t ₀	0,71	0,82	0,80

Eğik düzleme gelen ışınım miktarının ve yatay düzlemlere gelen ışınım miktarına oranı denklem (4.39), (4.40) ve (4.41)'den;

$$Q_E = \bar{R}_d \cdot Q$$

$$\bar{R}_d = \frac{\cos(\phi - s) \cdot \cos \delta \cdot \cos h + \sin(\phi - s) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos h + \sin \phi \cdot \sin \delta}$$

Kuzey yarımkürede güneye bakan eğik düzlem için;

$$\bar{R}_{dg} = \frac{\cos(\phi - S) \cdot \cos \delta \cdot \sin H_g + \frac{\pi}{180} \cdot H_g \cdot \sin(\phi - S) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin H + \frac{\pi}{180} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta}$$

$$H_g = \cos^{-1}(-\tan(\phi - S) \cdot \tan \delta)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu denklemler yardımıyla hesaplanmış H_g ve \bar{R}_{dg} değerleri çizelge 6.5'te gösterildiği gibi oluşturulur:

Çizelge 6.5 15° Güneye dönük düzlem için R_{dg} oranı

$\phi=39,5^\circ$ Eskişehir	δ	H	H_g	\bar{R}_{dg}
Haziran	23,09°	110,57°	97,21	1,59
Temmuz	21,18°	108,63°	97,37	1,56
Ağustos	13,45°	101,37°	96,71	1,41

15° eğik düzleme bir gün boyunca gelen toplam güneş ışınım miktarı (Q_E) denklem (4.41);

$$\bar{R}_d = \frac{Q_E}{Q} = \bar{R}_{dg} \cdot \frac{Q_D}{Q} + \frac{Q_Y}{Q} \cdot \frac{1 + \cos S}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos S}{2}$$

yardımıyla çizelge 6.6'da gösterildiği gibi bulunur;

Çizelge 6.6 Eğik düzleme gelen günlük toplam ışınım miktarı

$\phi=39,5^\circ$ Eskişehir	Q_o (MJ/m ² - gün)	Q (MJ/m ² - gün)	Q_D (MJ/m ² - gün)	Q_Y (= $Q - Q_D$) (MJ/m ² - gün)	ρ	R_d	Q_E (= $R_d \cdot Q$) (MJ/m ² - gün)
Haziran	41,33	23,72	14,6	9,12	0,2	1,373	32,57
Temmuz	40,25	24,77	16,2	8,57	0,2	1,383	34,26
Ağustos	36,23	22,04	13,9	8,14	0,2	1,613	35,55

Çizelge 6.6'da gösterilen eğik düzleme gelen toplam ışınım miktarı Watt.saat cinsinden, günlük güneşlenme süreleri de Elektrik İşleri Etüt İdaresinin verilerinden alınıp aşağıdaki tabloda yazılarak eğik düzleme gelen anlık ışınım miktarı hesaplanmıştır.

Çizelge 6.7 15° Eğik düzleme gelen anlık ışınım miktarı

$\phi=39,5^\circ$ Eskişehir	Günlük Güneşlenme Süresi (Saat)	Q_E (Watt.Saat/m ²)	I_E (W/m ²)
Haziran	10,3	9047,22	878,37
Temmuz	11,4	9516,67	834,80
Ağustos	10,7	9875	922,90

Kolektör yüzeyi hesaplamak için;

$$Q_f = \eta_{kolektör} \cdot A_{kolektör} \cdot I_e$$

Formülünden yüzey alanını çekelim;

$$A_{kolektör} = \frac{Q_f}{\eta_{kolektör} \cdot I_e}$$

İhtiyaç duyulan ısı enerjisini 237,85 kW olarak hesaplamıştık.

Kolektör verimini (Ref. Viessmann VITOSOL 100-F-Dikey veya yatay montaj için) düzlemsel kolektör için yaklaşık 0,75 olarak seçelim

$$\eta_{kolektör}=0,75$$

Bu verilere göre hazırlanan kolektör yüzeyleri çizelge 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 Aylara göre kolektör yüzeyleri

	Q_f (W)	$\eta_{kolektör}$	I_e (W/m ²)	$A_{kolektör}$ (m ²)
Haziran	237850	0,75	878,37	361,05
Temmuz	237850	0,75	834,80	379,89
Ağustos	237850	0,75	922,90	343,63

Güneş enerjisi destekli soğutma sistemleri incelendiğinde 1 kW soğutma yükü için absorpsiyonlu su soğutma gruplarında gerekli kolektör alanı 2.77 m²/kW, adsorpsiyonlu su soğutma gruplarında 3.49 m²/kW olup, soğutma sistemine göre 0.5'den 5.5 m²/kW kadar geniş bir aralıkta değişebilmektedir (Henning H. , 2007) .

Bizim seçtiğimiz örnekteki Viessmann VITOSOL 100-F-Dikey veya yatay montajlı düzlemsel kolektör için bu rakam aşağıdaki hesaplarda görüldüğü gibi 2,86 ila 3,17 m²/kW arasında değişmektedir.

$$A_{Haziran} \equiv \frac{\text{Kollektör Yüzeyi}}{\text{Soğutma Yüğü}} = \frac{361,05 \text{ m}^2}{120 \text{ kW}} = 3,01 \text{ m}^2/\text{kW}$$

$$A_{Temmuz} \equiv \frac{\text{Kollektör Yüzeyi}}{\text{Soğutma Yüğü}} = \frac{379,89 \text{ m}^2}{120 \text{ kW}} = 3,17 \text{ m}^2/\text{kW}$$

$$A_{Ağustos} \equiv \frac{\text{Kollektör Yüzeyi}}{\text{Soğutma Yüğü}} = \frac{343,63 \text{ m}^2}{120 \text{ kW}} = 2,86 \text{ m}^2/\text{kW}$$

7 SONUÇLAR

Yapmış olduğumuz bu örnek çalışmada, 39° 46' Kuzey paralelinde bulunan Eskişehir ilindeki 1000 m² lik bir kafeteryanın Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında soğutucu akışkan olarak Amonyak, soğurucu akışkan olarak da Su kullanılan ve güneş enerjisi ile çalıştırılacak olan bir absorpsiyonlu soğutma sisteminde kaynatıcıya sağlanması gereken ısı enerjisinin 237,85 kW olduğu hesaplanmıştır. Bu ısı enerjisinin güneşten elde edilebilmesi için gereken düz tip kolektörün yüzey alanı hesabını yapmamız gerekliliği hasil olacağından kolektör yüzey alanı hesabını yaparken, verimlilik kriterini Viessmann Vitosol 100-F düzlemsel kolektör için 0,75 olarak seçtik. Buna göre yapılan hesap sonucunda böyle bir sistem için gerekli olan, 15° açıyla güneşe dönük kolektör yüzey alanları haziran ayı için 361,05 m², temmuz ayı için 379,89 m² ve ağustos ayı için 343,63 m², sistemin soğutma tesir katsayısı ise 0,5045 olarak hesaplanmıştır.

1000 m² kullanım alanı olan kafeterya binasının güneş enerjisi destekli olarak soğutulması için gerekli kolektör yüzey alanı en fazla temmuz ayı için 379,89 m² 'dir. Böyle bir sistemde kullanılması gereken en düşük kolektör yüzeyi de buna göre seçilmelidir. 1000 m² kullanım alanı olan bir binaya ait mimari projelerde güneşe dönük çatı yüzey alanı 380 m² mertebesinde tasarlanıp düz tip kolektörlerin çatı kaplaması olarak düşünülmesi ile de sistemin uygulanabilirliğine katkı sağlanabilir.

Güneş enerjisi ile çalıştırılan absorpsiyonlu soğutma sistemi kesintili bir çevrime dayanmakta olup, güneş kolektörü ve amonyak kaynatıcısının (jeneratörü) bütünleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Sistemde bulunan eriyik eşanjörü çevrimin ısı verimini yükseltmektedir. (Ültanır, 1989)

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte güneş kolektörlerinin verimleri odaklamalı güneş kolektörlerinin geliştirilmesiyle artmıştır. Soğutma ihtiyacının fazla olduğu, aynı zamanda güneşten sağlanan enerjinin de yıl içindeki en yüksek seviyelerine ulaştığı yaz

aylarında soğutma ihtiyacı için gerekli olan enerjinin güneşten sağlanması ve bu teknolojinin desteklenmesi dünyanın enerji geleceği bakımından büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. Akbulut, U., & Kıncay, O. (2006). Tesisat Mühendisliği , s.24-32.
2. Akdemir, Ö., & Güngör, A. (2001). V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi .
3. Aksoy, B., Ener, S., & Akınoğlu, B. G. (2010). Global güneş radyasyonunun tahmin edilmesine yönelik angstrom denklemi ve uydu yaklaşımının karşılaştırılması.
4. Atmaca, İ., & Yiğit, A. (2002). Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Simülasyonu. s. 125-136.
5. Aybers, N. (1992). Soğutma Makinaları. İstanbul.
6. Bulut, H. (2008). Adana İlinde Eğik Yüzeyle Gelen Güneş Işınım Miktarının Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu. Adana.
7. Büyükalaca, O., & Tuncay, Y. (1999). Güneş Enerjisi İle Soğutma Teknolojilerine Genel Bir Bakış. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi , E/2003/321,s. 48-60.
8. Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A. (2000). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. İstanbul: Literatür.
9. Çetiner, C., & Bulut, H. Güneş Enerjisi Laboratuar Föyü. Harran Üniversitesi.
10. Çoban, M. Turhan;. (2011). Soğutma Sistemlerinin Esasları. E.Ü Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
11. Desideri, U., Proietti, S., & Sdringola, P. (2009). Solar-Powered Cooling Systems. 1-11.

12. Eicker, U. (2003). Solar Technologies for Buildings. England: Wiley.
13. Ermiş, K., & Kılıçaslan, İ. Güneş Enerjisiyle Soğurmalı Soğutma. 5. Türk Alman Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, s. 25-35
14. Henning, H.-M. (2007). Solar assisted air conditioning of buildings – an overview. Applied Thermal Engineering 27 , s. 1734-1749.
15. Herold, K., Radermacher, R., & Klein, S. (1996). Absorption Chillers and Heat Pumps. Boca Raton, New York, London, Tokyo: CRC Press.
16. Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2004). Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri. İstanbul: Literatür.
17. Jawahar, C., Raja, B., & Saravanan, R. (2010). Thermodynamic studies on NH₃-H₂O absorption cooling system using pinch point approach. International Journal of Refrigeration 33 , s.1377-1385.
18. Kent, E., & Kaptan, İ. (13-15 Mayıs 2009). 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09). KARABÜK.
19. Kılıç, A., & Öztürk, A. (1983). Güneş Enerjisi. İstanbul, Çağaloğlu: Kipaş.
20. Kıncay, O. Güneş Enerjisi Ders Notları.
21. Özkol, Nuri. (2004). Uygulamalı Soğutma Tekniği. Ankara: MMO.
22. Öztürk, A., & Kılıç, A. (1998). Çözümlü Problemlerle Termodinamik. İstanbul.
23. Pıhtılı, Kazım;. (1989). Fırat Üniversitesi Ders Notları.
24. Praene, J. P., Bastide, A., Lucas, F., Garde, F., & Boyer, H. (2007). Simulation and Optimization of a Solar Absorption Cooling System Using Evacuated Tube Collectors. Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors .

25. Seara, J. F., & Vázquez, M. (2001). Study and control of the optimal generation temperature in NH₃-H₂O absorption refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering* 21 , s. 343-357.
26. Stoecker, W., & Jones, J. (1982). W. Stoecker, & J. Jones içinde, *Refrigeration and Air Conditioning* s. 328-349.
27. Sun, D.-W. (1996). Comparison of the performance of of NH₃-H₂O, NH₃-LiNO₃ and NH₃-NaSCN absorption refrigeration systems. *Energy Conversion*, s. 357-368.
28. Sun, Da-Wen. (1997). Thermodynamic design data and optimum design maps for absorption refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering* 17 ,s. 211-221.
29. Thermophysical properties of NH₃-H₂O solutions for the industrial design of absorption refrigeration equipment. (2004). M.CONDE Engineering .
30. Tozer, R. M., & James, R. W. (1997). Fundamental thermodynamics of ideal absorption cycles. *International Journal of Refrigeration* 20 , s.120-135.
31. Tozer, R., Syed, A., & Maidment, G. (2005). Extended temperature–entropy (T–s) diagrams for aqueous lithiumbromide absorption refrigeration cycles. *International Journal of Refrigeration* 28 , s. 689-697.
32. Ültanır, M. Ö. (1989). *Güneşle Devitilen Soğutma Sistemlerinin Analitik İrdelemesi ve Karşılaştırması*. Ankara.
33. Viessmann. (2012). *Güneş enerjisi sistemleri planlama klavuzu*.
34. Viessmann Isı Teknikleri. (2011). *Güneş Enerjisi Kullanımı*.
35. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., & Coşkun, S. (2002). *Soğutma Tekniği ve Uygulamaları*. Bursa.

İNTERNET KAYNAKLARI

1. Alfa-Laval. (2012). Dryplus-3 shell & tube evaporators.
<http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/dry-plus/Documents/Dryplus3.pdf>
2. Alternatürk. (2010).
<http://www.alternaturk.org/gunes-enerjisi-sogutma.php>
3. Apep. (2011).
<http://www.apep.uci.edu/der/buildingintegration/2/Technologies/WasteHeatRecovery.aspx>
4. Danfoss. (2012). Thermostatic expansion valves.
<http://www.danfoss.com>
5. EİE. (2012, Ocak). Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemleri
<http://www.eie.gov.tr>
6. wikipedia. (2012).
http://en.wikipedia.org/wiki/Fractionating_column
7. wikipedia. (2012).
http://en.wikipedia.org/wiki/Shell_and_tube_heat_exchanger
8. York. (2012). HOW IT WORKS. YORK Millennium YIA Absorption Chiller.
www.york.com
9. www.dmi.gov.tr

EKLER

EK-1 NH₃-H₂O Eriyiğinin Termodinamik Özellikleri (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)

kPa	N ₂	0	10	15	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	46	50	55	60	70	80	85	90	92	94	96	100	
10	t	45.8	15.6	5.3	-4.4	-8.1	-11.8	-15.2	-18.3	-21.6	-24.4	-27.6	-30.3	-33.3	-35.6	-38.1	-43.9	-48.7	-54.8	-59.5	-65.9	-68.6	-69.6	-70.3	-70.4	-70.7	-70.9	-71.3	
	hr	191.8	-10.9	-90.7	-167.6	-197.0	-224.0	-251.2	-275.5	-299.4	-325.0	-345.6	-365.5	-384.1	-400.8	-414.0	-442.9	-443.7	-482.0	-495.1	-485.8	-447.9	-421.5	-391.0	-372.1	-36.5	-350.4	-319.6	
	h _v	2583.2	1546.4	1421.8	1343.7	1327.5	1307.4	1290.2	1282.0	1272.4	1262.9	1253.5	1245.1	1237.0	1230.1	1224.0	1212.2	1201.7	1189.1	1178.9	1165.2	1159.0	1157.4	1154.0	1154.0	115.0	1154.5	1153.6	
	x _v	0.0	82.23	90.82	95.60	96.42	97.87	99.03	99.25	89.43	99.64	99.76	99.93	99.96	99.98	99.98	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
20	t	60.0	30.3	19.7	10.0	5.9	2.3	-1.6	-4.2	-8.3	-10.8	-14.6	-17.5	-20.7	-23.3	-26.3	-30.6	-36.4	-42.3	-47.5	-53.4	-57.9	-59.1	-60.0	-60.3	-60.7	-60.9	-61.4	
	hr	251.0	48.8	-32.1	-109.6	-139.0	-168.4	-197.3	-225.2	-248.9	-274.3	-296.0	-315.2	-334.0	-351.0	-366.2	-391.3	-412.1	-431.0	-444.9	-435.6	-396.9	-371.8	-345.2	-332.5	-319.5	-304.0	-275.1	
	h _v	2608.0	1600.1	1458.0	1376.0	1354.0	1333.4	1316.4	1306.0	1295.6	1286.0	1277.0	1268.4	1260.6	1253.2	1247.0	1235.2	1234.8	1224.8	1212.3	1202.5	1188.3	1179.2	1176.4	1174.2	1173.6	1173.1	1172.2	1171.5
	x _v	0.0	79.97	89.89	95.10	96.03	97.43	98.50	98.92	99.21	99.52	99.66	99.80	99.88	99.96	99.94	99.98	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
40	t	76.1	45.6	35.1	24.7	20.5	16.8	13.4	9.8	6.4	2.9	-0.7	-4.3	-6.8	-9.4	-13.2	-18.6	-23.7	-30.1	-32.2	-41.7	-46.2	-47.4	-48.6	-48.8	-49.0	-49.4	-50.0	
	hr	318.4	114.1	31.7	-45.8	-75.0	-104.0	-132.8	-161.0	-186.9	-211.0	-234.7	-256.0	-277.0	-296.0	-313.8	-342.0	-342.0	-382.0	-395.0	-385.5	-346.9	-320.3	-294.5	-281.4	-268.2	-254.6	-227.1	
	h _v	2635.2	1660.6	1504.0	1417.0	1390.0	1366.6	1349.0	1335.2	1322.4	1310.5	1302.1	1292.2	1283.6	1274.6	1268.6	1259.9	1248.8	1233.0	1222.5	1208.9	1199.4	1197.0	1194.4	1194.0	1193.8	1192.2	1191.0	
	x _v	0.0	76.82	87.93	93.67	95.29	96.56	97.56	98.22	98.66	91.10	99.41	99.64	99.77	99.84	99.88	99.92	99.94	99.97	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
60	t	85.9	55.4	44.3	33.9	29.7	28.0	22.2	10.4	15.1	11.8	8.2	5.1	1.7	-2.1	-4.6	-10.6	-16.1	-23.2	-28.0	-35.0	-38.8	-40.0	-41.6	-41.9	-42.1	-42.6	-43.3	
	hr	359.4	155.4	73.0	-4.5	-36.1	-66.3	-94.5	-122.5	-147.8	-171.2	-194.8	-216.3	-237.2	-256.6	-274.0	-303.2	-324.8	-346.0	-359.1	-350.9	-312.5	-288.1	-262.4	-250.3	-237.3	-223.1	-195.3	
	h _v	2631.3	1705.0	1543.5	1449.3	1420.3	1396.5	1376.0	1361.5	1348.7	1334.5	1322.0	1312.0	1302.5	1293.5	1285.0	1272.5	1260.0	1247.0	1236.6	1221.0	1212.9	1209.7	1207.0	1204.0	1205.0	1204.2	1202.6	
	x _v	0.0	74.90	86.52	92.82	94.63	96.85	97.65	98.28	96.60	99.17	99.44	99.65	99.79	99.82	99.89	99.91	99.96	99.98	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
80	t	93.5	62.8	51.5	40.9	36.8	33.2	29.5	25.6	21.7	18.6	15.7	12.0	8.2	4.8	1.7	-4.5	-10.3	-26.4	-21.8	-29.2	-33.1	-34.4	-36.1	-36.4	-36.9	-37.3	-38.0	
	hr	391.2	187.1	103.2	22.7	-8.1	-39.6	-68.2	-95.2	-119.0	-143.8	-167.1	-189.6	-210.3	-229.9	-248.0	-277.0	-298.9	-320.2	-333.0	-325.3	-288.0	-266.0	-239.1	-226.3	-212.9	-199.5	-172.0	
	h _v	2664.0	1739.9	1576.0	1477.2	1446.0	1420.0	1401.4	1382.0	1366.7	1351.7	1338.0	1328.0	1317.5	1307.4	1298.0	1286.0	1274.4	1258.0	1247.5	1231.2	121.7	1218.2	1215.3	1214.4	1213.5	1212.5	1211.3	
	x _v	0.0	73.32	85.32	92.08	93.93	95.30	96.37	97.29	92.00	96.55	98.96	99.27	99.53	99.69	99.77	99.80	99.95	99.95	99.95	99.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
100	t	95.6	68.9	57.4	46.8	42.7	39.0	35.3	31.4	27.5	24.2	21.4	17.6	13.5	10.3	6.8	0.4	-5.0	-11.7	-18.2	-24.1	-28.8	-30.0	-31.6	-32.0	-32.4	-33.1	-33.9	
	hr	417.2	213.5	129.0	47.5	20.0	-11.3	-38.8	-66.7	-93.5	-120.0	-142.8	-164.5	-186.0	-206.2	-225.0	-254.0	-275.5	-298.4	-323.0	-305.5	-268.0	-246.1	-219.0	-206.5	-192.9	-180.3	-152.1	
	h _v	2673.6	1770.5	1602.0	1499.5	1467.0	1441.1	1421.6	402.0	13.9	1367.7	1354.0	1343.5	1330.7	1319.4	1310.0	1295.0	1281.0	1267.0	1256.6	1239.4	1229.2	1225.3	1222.3	1221.2	1220.6	1219.6	1218.0	
	x _v	0.0	72.07	84.34	91.56	93.40	94.88	96.01	97.03	97.78	98.34	98.79	99.12	99.21	99.60	99.71	99.84	99.89	99.94	99.97	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
140	t	109.6	79.0	67.0	56.0	52.0	48.4	44.4	40.6	36.9	33.5	29.9	25.8	21.8	18.7	15.1	8.7	2.7	-3.9	-9.4	-16.6	-21.4	-23.1	-24.7	-25.1	-25.6	-25.9	-26.8	
	hr	457.2	253.9	169.1	87.3	59.3	26.5	-2.0	-29.6	-55.8	-82.5	-106.0	-128.5	-149.3	-169.2	-187.0	-218.0	-240.4	-268.4	-279.0	-273.2	-236.1	-213.2	-186.0	-174.0	-161.2	-148.6	-121.8	
	h _v	2688.4	1818.0	1639.0	1527.6	1494.5	1465.0	1445.5	1423.2	1402.6	1385.8	1371.0	1359.5	1346.8	1336.0	1326.2	1308.4	1295.4	1280.6	1268.0	1251.6	1240.3	1236.5	1233.3	1232.4	1231.1	1230.1	1228.4	
	x _v	0.0	70.00	82.88	90.47	92.48	94.14	95.42	96.50	97.37	97.98	98.45	98.84	99.19	99.43	99.59	99.78	99.87	99.94	99.95	99.95	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	
170	t	115.2	84.8	72.6	61.5	55.7	53.4	49.5	45.7	41.9	37.2	34.2	30.7	27.2	23.8	20.2	13.8	7.6	0.7	-4.4	-11.9	-17.2	-19.0	-20.4	-20.7	-21.2	-21.6	-22.2	
	hr	482.9	280.5	194.6	111.5	82.6	51.3	22.5	-5.1	-31.0	-56.0	-82.0	-105.5	-127.5	-147.3	-165.1	-196.9	-219.2	-243.0	-257.0	-251.7	-216.6	-194.2	-166.8	-154.5	-142.3	-129.3	-102.3	
	h _v	2697.1	1841.0	1662.0	1548.0	1514.5	1484.5	1463.5	1440.0	1419.0	1401.8	1386.0	1374.5	1360.6	1348.6	1338.8	1321.1	1306.1	1290.1	1277.2	1260.4	1247.8	1243.0	1240.0	1238.7	1237.6	1236.5	1234.6	
	x _v	0.0	68.69	82.01	89.65	91.79	93.99	94.95	96.12	97.06	97.72	98.23	98.66	99.02	99.31	99.50	99.75	99.85	99.92	99.94	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	
200	t	120.2	89.6	77.4	66.3	62.2	58.1	54.1	50.2	44.4	42.7	38.9	35.3	31.7	28.2	24.7	18.1	12.0	5.0	-0.6	-8.2	-13.4	-15.3	-16.7	-17.2	-17.7	-18.1	-18.8	
	hr	504.4	302.4	215.2	131.6	102.0	71.1	41.6	14.5	-12.1	-38.5	-62.5	-85.8	-107.4	-127.4	-146.0	-177.6	-201.0	-225.0	-239.0	233.8	-199.7	-177.6	-140.1	-137.8	-126.0	-112.5	-86.2	
	h _v	2704.4	1844.0	1680.9	1566.0	1531.8	1500.5	1477.5	1450.0	1430.9	1413.1	1397.3	1385.0	1370.6	1359.0	1348.5	1331.0	1314.5	1298.0	1284.0	1265.6	1252.9	1248.5	1245.0	1243.8	1242.6	1241.5	1239.4	
	x _v	0.0	67.57	81.19	88.93	91.18	93.15	94.55	95.77	96.75	97.46	98.03	98.50	98.89	99.19	99.42	99.72	99.84	99.92	99.93	99.97	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	
230	t	124.4	94.4	81.9	70.9	66.7	62.0	58.2	54.1	50.6	46.5	42.5	38.9	35.6	32.2	28.2	21.7	15.7	2.6	2.3	-4.9	-10.1	-11.9	-13.4	-14.4	-14.8	-15.6		
	hr	523.1	320.8	233.2	149.2	119.2	88.1	58.4	31.7	6.9	-20.6	-45.0	-68.4	-90.3	-110.1	-128.5	-160.1	-184.2	-206.4	-222.9	-217.1	-184.1	-162.1	-134.9	-122.7	-110.7	98.1	-71.6	
	h _v	2711.0	1885.0	169																									

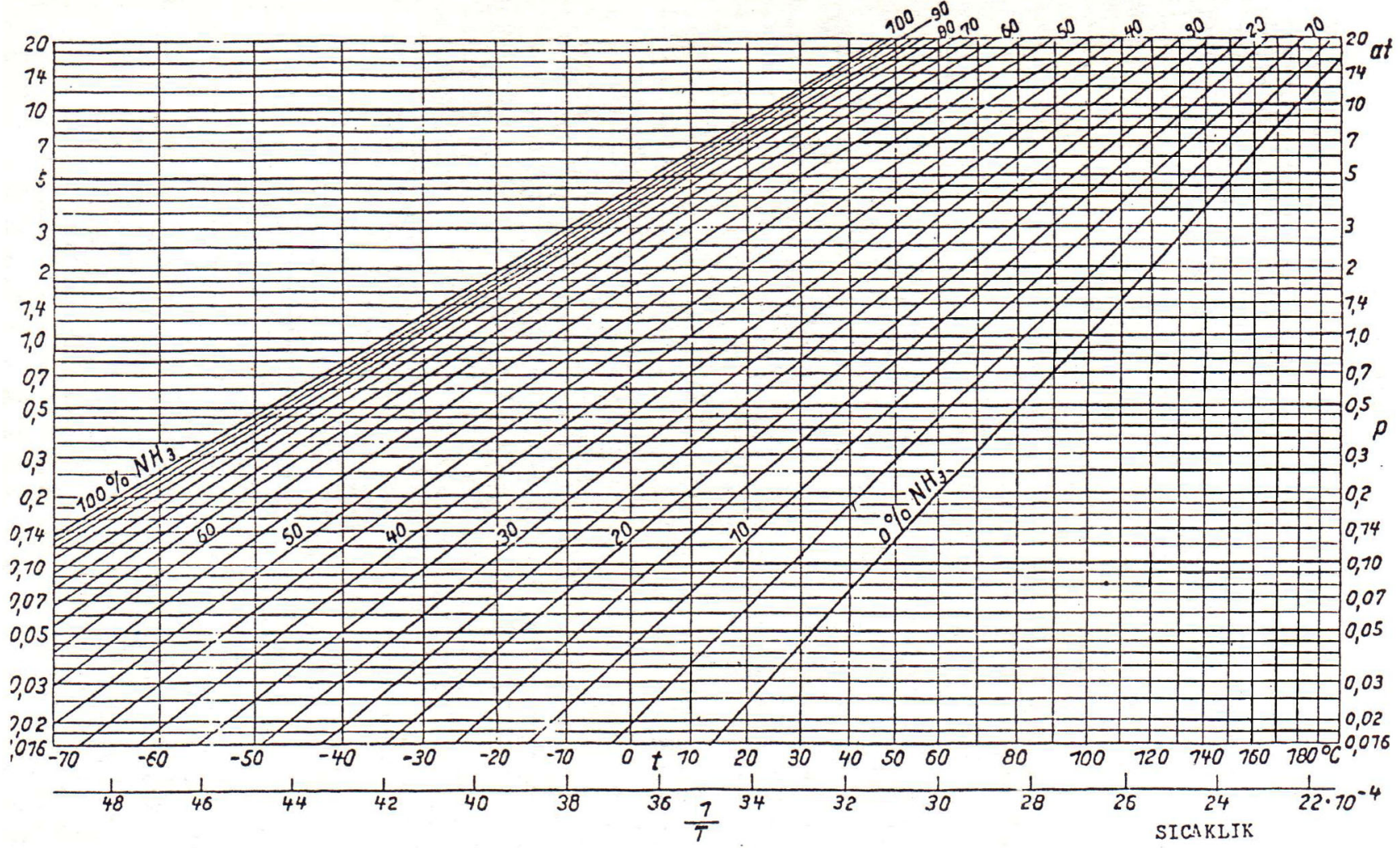
EK-1 devam

kPa	Xr	0	10	15	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	46	50	55	60	70	80	85	90	92	94	96	100	
360	t	139.9	109.4	96.9	85.1	80.7	74.6	72.4	68.5	64.6	60.5	56.5	52.7	49.0	45.3	41.2	34.5	28.1	21.4	15.4	7.2	1.8	-0.4	-2.2	-2.8	-3.3	-3.8	-4.7	
	hr	588.2	387.0	300.5	213.0	181.6	150.0	122.7	93.6	64.5	41.0	17.0	-6.0	-28.4	-48.9	-68.4	-100.4	-127.1	-150.6	-166.7	-163.6	-133.0	-110.0	-84.0	-72.4	-60.2	-47.7	-21.4	
	h _v	2731.1	1954.5	1763.5	1633.2	1594.9	1561.3	1535.8	1508.0	1481.3	1458.3	1438.3	1423.4	1409.9	1393.7	1381.0	1359.1	1341.8	1324.4	1309.4	1288.4	1274.3	1258.6	1244.2	1228.8	1214.2	1200.0	1186.0	1172.0
	X _v	0.0	63.14	77.51	86.38	88.93	91.12	92.85	94.26	95.41	96.33	97.08	97.71	98.23	98.63	98.97	99.43	99.73	99.86	99.88	99.95	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00
400	t	143.6	113.1	100.4	88.7	84.4	80.2	76.1	72.2	67.9	63.9	60.1	56.3	52.4	48.6	45.0	38.1	31.4	24.4	18.7	10.3	4.7	2.6	0.6	0.0	-0.6	-1.1	-1.9	
	hr	604.1	402.8	315.0	228.5	196.6	165.5	138.0	109.0	82.0	56.0	31.0	8.0	-15.6	-35.7	-54.4	-86.6	-112.7	-134.2	-132.4	-130.1	-119.9	-94.9	-70.9	-59.3	-47.4	-34.9	-8.6	
	h _v	2735.9	1971.0	1780.0	1645.0	1609.0	1575.7	1547.2	1517.6	1490.1	1467.0	1446.8	1431.8	1416.2	1402.0	1390.0	1367.1	1348.0	1329.1	1314.9	1292.9	1278.0	1272.4	1267.3	1262.7	1258.4	1254.2	1250.0	1246.0
	X _v	0.0	42.26	76.78	85.82	88.47	90.69	92.48	93.95	95.15	96.10	96.88	97.53	98.07	98.48	98.86	99.37	99.69	99.83	99.88	99.95	99.98	99.98	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00
440	t	147.1	116.5	103.7	92.1	87.7	80.4	79.3	75.2	71.1	67.0	63.2	59.2	55.2	51.6	48.0	41.2	34.4	27.2	21.6	13.0	7.5	5.2	3.2	2.7	2.0	1.5	0.6	
	hr	619.2	417.9	330.0	243.0	210.6	179.7	152.5	123.0	96.5	70.0	44.0	21.5	-3.0	-22.5	-40.5	-73.0	-98.3	-123.0	-139.2	-138.0	-107.4	-84.9	-5.9	-47.4	-35.5	-23.8	3.0	
	h _v	2740.0	1986.0	1794.0	1657.5	16919.8	1586.3	1556.4	1526.7	1499.2	1475.5	1454.8	1439.2	1423.6	1408.7	1396.3	1373.1	1354.0	1335.0	1319.5	1297.0	1282.5	1275.4	1270.4	1268.7	1267.2	1265.7	1263.0	
	X _v	0.0	61.43	76.09	85.30	88.03	90.42	92.26	93.77	94.99	95.94	96.75	97.42	97.92	98.35	98.75	99.30	99.66	99.79	99.86	99.97	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
480	t	150.1	119.9	106.9	95.3	90.8	86.5	82.4	78.2	74.1	70.1	66.0	62.2	58.0	54.4	50.8	44.0	37.1	30.0	24.3	15.6	10.0	7.7	5.6	5.2	4.4	3.9	2.9	
	hr	632.9	431.4	343.5	256.8	224.2	191.7	166.1	136.6	110.5	83.5	57.5	34.5	10.1	-9.3	-27.1	-59.1	-84.6	-109.8	-126.9	-126.2	-95.5	-73.8	-48.2	-36.8	-24.9	-12.4	13.9	
	h _v	2744.0	2001.0	1807.2	1670.6	1629.2	1595.6	1565.6	1535.9	1508.3	1484.5	1463.4	1447.2	1430.4	1415.3	1402.2	1379.0	1359.5	1339.3	1323.4	1300.4	1284.6	1278.4	1272.8	1271.1	1269.5	1268.2	1265.5	
	X _v	0.0	60.70	75.07	84.81	87.58	89.91	91.82	93.77	94.67	95.63	96.49	97.18	97.75	98.21	98.62	99.22	99.52	99.85	99.95	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
520	t	153.3	123.2	110.2	98.1	93.8	89.5	85.5	81.0	76.8	73.0	68.8	64.8	60.8	57.1	53.5	46.6	39.8	32.6	26.8	17.9	1.5	10.2	7.8	8.5	6.6	6.2	5.1	
	hr	644.2	444.4	356.4	269.8	237.6	207.7	180.1	150.6	125.0	98.0	71.0	67.5	23.5	4.2	-14.7	-46.8	-72.8	-98.0	-115.8	-114.9	-84.6	-52.2	-37.7	-26.5	-14.8	-2.0	24.2	
	h _v	2747.4	2013.0	1819.4	1682.5	1640.4	1606.7	1574.2	1543.7	1515.9	1492.1	1470.2	1453.4	1436.8	1421.7	1408.8	1384.9	1365.2	1344.0	1326.9	1303.9	1287.7	1281.2	1275.4	1273.6	1271.9	1270.4	1267.7	
	X _v	0.0	59.91	74.83	84.33	87.17	89.52	91.44	93.06	94.40	95.43	96.30	97.00	97.61	98.06	98.51	99.12	99.44	99.74	99.83	99.94	99.97	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
560	t	156.2	126.1	113.1	100.9	96.5	92.3	88.0	83.7	79.4	75.7	71.5	67.5	63.7	59.0	55.0	48.0	41.0	35.1	29.3	20.1	14.6	12.5	10.4	9.5	8.7	8.1	7.4	
	hr	658.2	457.4	369.5	282.1	250.7	221.2	193.0	164.0	138.4	111.0	84.0	60.5	36.0	16.2	-3.4	-34.6	-60.4	-87.1	-105.3	-104.8	-74.9	-42.4	-27.7	-16.6	-4.4	8.0	34.0	
	h _v	2750.4	2027.0	1831.0	1695.0	1650.8	1616.0	1582.4	1551.4	1523.5	1499.3	1477.6	1459.9	1443.2	1428.3	1414.2	1390.3	1370.0	1347.9	1329.8	1304.4	1290.1	1283.5	1278.0	1276.2	1274.3	1272.8	1269.7	
	X _v	0.0	59.17	76.22	83.76	86.79	89.14	91.12	92.74	94.14	95.22	96.23	96.82	97.46	97.92	98.38	99.03	99.46	99.71	99.83	99.83	99.97	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
600	t	158.6	128.7	115.6	103.5	99.1	94.8	90.4	84.2	81.7	77.8	74.0	70.1	66.1	62.3	58.5	51.4	44.8	37.4	31.2	22.5	16.5	14.4	12.5	11.4	10.5	10.2	9.3	
	hr	669.9	469.5	381.6	292.5	263.6	234.5	206.0	177.0	131.4	124.0	97.0	72.5	47.5	27.4	8.4	-24.0	-50.7	-77.2	-95.3	-94.4	-65.1	-43.2	-18.2	-7.4	5.0	14.4	43.2	
	h _v	2753.5	2041.0	1842.8	1703.0	1660.0	1624.5	1590.5	1558.2	1530.8	1505.9	1484.2	1465.2	1448.2	1433.7	1420.2	1395.4	1374.1	1351.9	1333.5	1309.2	1292.4	1285.0	1280.3	1278.6	1276.5	1274.7	1275.7	
	X _v	0.0	58.46	73.60	83.36	86.39	88.70	90.78	92.44	93.80	95.01	95.91	96.65	97.31	97.77	98.26	98.95	99.38	99.67	99.83	99.93	99.97	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
640	t	161.4	131.2	118.0	106.0	101.5	97.5	93.1	88.7	84.2	80.6	76.4	72.4	68.5	64.5	61.0	53.5	47.1	40.2	33.5	24.4	18.5	16.2	14.2	13.1	12.5	11.9	11.2	
	hr	680.9	481.6	392.6	304.6	276.1	247.2	218.6	189.6	163.7	136.0	109.5	85.0	60.4	39.8	20.0	-13.6	-39.8	-67.5	-85.6	-84.9	-55.8	-34.3	-9.2	1.4	13.2	25.0	52.0	
	h _v	2756.5	2054.0	1854.1	1713.0	1669.4	1632.5	1597.6	1564.0	-1537.6	1512.3	1490.7	1471.4	1454.0	1439.2	1425.1	1399.8	1377.5	1355.0	1336.2	1311.6	1294.7	1288.0	1282.4	1280.6	1278.4	1276.6	1273.3	
	X _v	0.0	57.75	73.06	82.91	86.03	88.41	90.46	92.15	93.63	94.82	95.71	96.48	97.15	97.66	98.15	98.86	99.29	99.68	99.81	99.93	99.97	99.98	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
680	t	163.8	133.7	120.7	108.3	103.8	99.7	95.4	91.0	86.5	82.7	78.5	74.6	70.5	66.5	63.1	55.5	49.1	41.8	35.3	26.4	20.4	18.0	14.0	15.1	14.4	13.8	12.9	
	hr	691.5	492.0	403.0	315.2	288.0	261.1	232.0	202.9	176.7	147.5	120.5	96.0	71.2	48.8	30.2	-3.0	-31.0	-58.4	-76.7	-75.8	-44.5	-24.0	-0.3	10.3	22.0	34.0	60.3	
	h _v	2758.9	2068.0	1865.1	1722.2	1678.4	1639.8	1604.5	1572.8	1544.5	1518.6	1496.8	1476.4	1459.0	1444.2	1429.5	1403.8	1380.7	1357.6	1339.4	131.9	1297.0	1290.1	1284.5	1282.2	1280.2	1278.4	1274.9	
	X _v	0.0	57.13	72.50	82.46	85.65	88.05	90.16	91.93	93.31	94.58	95.52	96.31	97.01	97.52	98.03	98.75	99.22	99.58	99.80	99.93	99.96	99.98	99.98	99.99	99.99	99.99	100.00	100.00
720	t	166.1	136.1	122.8	110.7	106.1	102.0	97.6	93.2	88.6	84.7	80.7	76.9	72.6	68.4	65.0	57.6	51.2	43.6	37.2	28.3	22.2	19.7	17.8	16.8	16.2	15.6	14.6	
	hr	701.5	502.3	413.3	326.6	299.0	273.0	244.0	214.9	187.2	157.9	131.0	106.0	81.5	59.0	40.5	5.4	-22.8	-49.9	-67.8	-67.5	-37.7	-16.8	8.0	19.0	30.0	42.0	68.4	
	h _v	2762.0	2080.5	1875.6	1730.5	1686.3	1646.9	1611.5	1579.6	1551.3	1																		

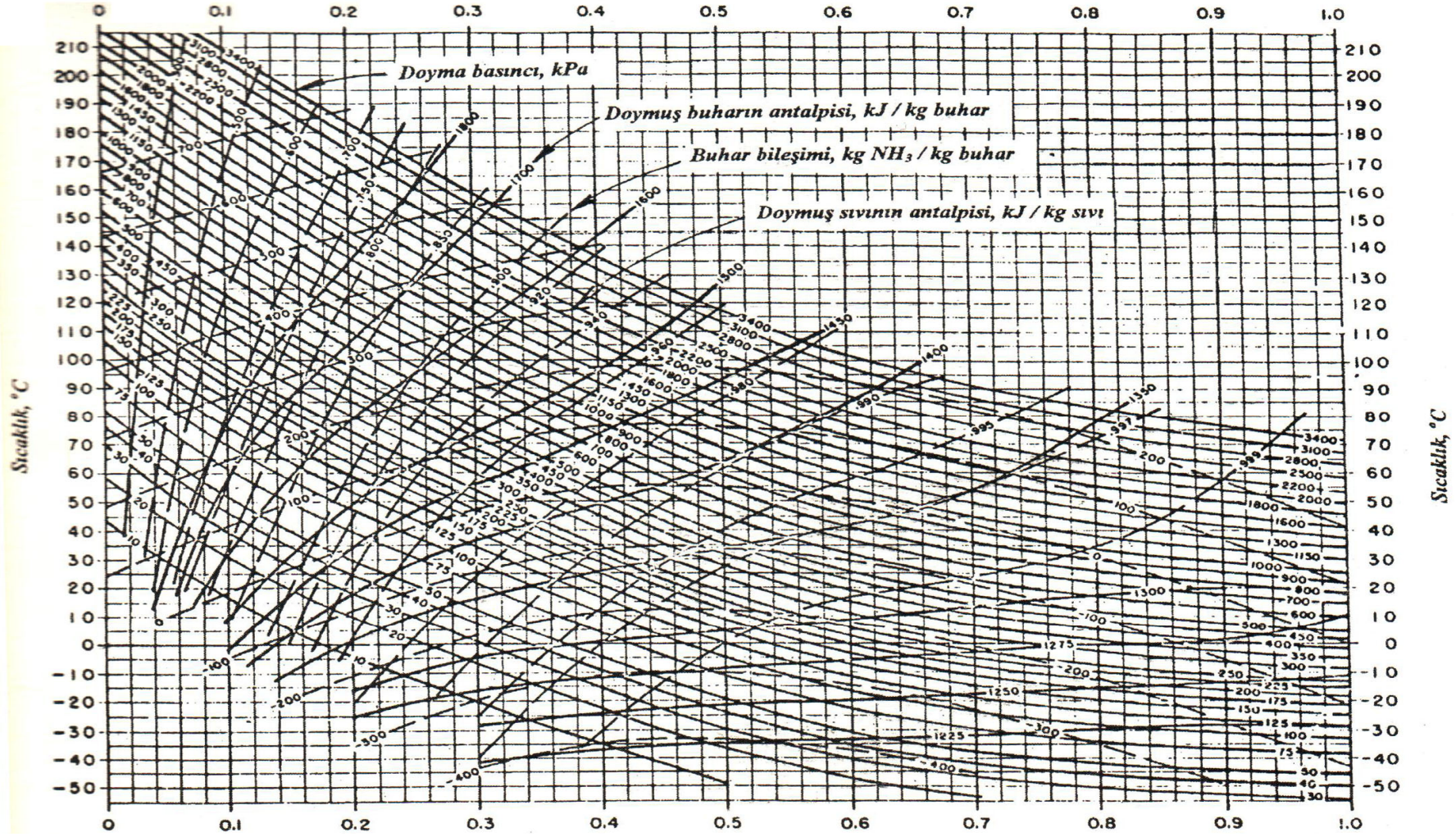
EK-1 devam

KPa	X _r	0	10	15	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	46	50	55	60	70	80	85	90	92	94	96	100
880	T	174,6	144,8	130,9	119,0	114,0	109,8	105,3	100,7	96,6	92,2	88,0	84,0	80,0	76,2	72,4	65,2	58,1	50,5	44,2	35,1	28,1	26,1	24,1	22,7	22,1	21,5	20,8
	hr	738,1	542,6	452,4	364,3	335,4	307,8	287,0	248,3	219,5	190,0	165,0	141,0	118,0	93,0	74,3	38,9	10,9	-14,6	-34,9	-35,7	-4,8	14,1	36,5	48,0	59,5	20,9	97,6
	h _v	2769,4	2124,0	1916,0	1763,3	1716,0	1675,0	1636,6	1604,2	1574,8	1548,7	1525,7	1504,1	1485,0	1468,0	1452,3	1423,7	1398,0	1372,6	1352,4	1326,5	1305,4	1297,8	1291,3	1289,2	1286,9	1284,9	1280,9
	X _v	0,0	54,20	69,90	80,65	83,76	86,32	88,71	90,61	92,20	93,56	94,66	95,51	96,30	96,91	97,47	98,29	98,84	99,33	99,64	99,86	99,93	99,86	99,87	99,98	99,98	99,98	100,00
920	T	176,3	146,7	132,9	120,8	115,9	111,7	107,1	102,6	98,5	94,0	89,7	85,7	81,7	77,9	74,2	66,9	51,6	52,0	45,9	38,7	30,1	27,6	25,4	24,2	23,5	22,7	22,3
	hr	746,2	551,6	460,4	372,0	343,5	315,2	284,9	255,5	227,5	198,5	172,8	148,9	126,2	103,5	83,4	47,1	18,1	-9,0	-27,4	-28,2	0,4	21,5	43,5	55,0	66,8	78,2	104,3
	h _v	2771,2	2133,0	1925,0	1771,4	1723,0	1683,0	1642,5	1610,6	1580,6	1554,4	1531,1	1509,6	1490,1	1472,0	1454,5	1425,8	1400,2	1374,8	1355,3	1326,2	1306,9	1299,2	1292,7	1290,6	1288,1	1286,1	1281,9
	X _v	0,0	53,73	69,44	80,30	83,30	86,16	88,42	90,40	91,99	93,36	94,50	95,38	96,17	96,80	97,38	98,20	98,78	99,28	99,60	99,83	99,90	99,94	99,96	99,97	99,98	99,99	100,00
960	T	178,1	148,6	134,6	122,6	117,6	113,4	109,0	104,3	100,1	95,7	91,4	87,5	83,2	79,6	75,7	68,5	61,1	53,5	47,5	38,1	31,6	29,1	26,8	25,6	24,8	24,1	23,7
	hr	754,3	650,8	469,6	381,1	351,5	323,0	292,7	263,4	236,2	206,5	180,9	156,9	134,2	11,8	91,1	54,6	25,6	-1,8	-19,8	-20,6	7,4	28,7	51,0	62,0	74,0	85,5	111,0
	h _v	2772,7	2142,7	1934,5	1779,0	1730,0	1687,5	1649,0	1616,0	1586,2	1540,0	1536,5	1514,8	1495,1	1476,9	1458,5	1429,6	1403,5	1378,0	1358,2	1327,8	1308,3	1300,6	1293,9	1291,8	1289,4	1287,1	1283,0
	X _v	0,0	53,20	68,99	79,95	83,12	85,88	88,17	90,20	91,81	93,17	94,32	95,22	96,04	96,69	97,27	98,12	98,71	99,23	99,55	99,80	99,89	99,93	99,97	99,97	99,98	99,99	100,00
1000	t	179,9	150,3	136,7	124,7	119,5	115,1	110,7	106,0	101,7	97,1	93,0	89,2	85,0	81,3	77,3	70,0	62,8	55,1	49,0	39,7	33,1	30,5	29,2	27,1	26,2	25,5	24,9
	hr	762,0	569,0	479,0	390,2	360,7	330,6	300,6	271,2	243,9	214,1	188,7	164,7	141,8	119,7	99,0	62,4	33,2	-12,0	-13,1	14,4	35,7	38,0	69,2	81,2	93,0	117,3	
	h _v	2776,2	2150,5	1942,2	1785,4	1736,0	1693,5	1654,4	1621,4	1592,0	1565,4	1541,9	1520,1	1500,0	1481,7	1463,0	1435,9	1407,8	1382,0	1362,1	1331,2	1310,5	1302,8	1295,8	1293,2	1290,4	1288,1	1283,9
	X _v	0,0	52,75	68,61	79,62	82,79	85,59	87,94	89,94	91,61	92,98	94,14	95,08	95,91	96,55	97,14	98,04	98,67	99,16	99,50	99,72	99,88	99,93	99,96	99,97	99,98	99,99	100,00
1100	T	184,1	154,4	140,9	128,7	123,6	114,2	114,7	110,2	105,7	101,4	98,6	93,1	88,7	85,2	81,0	73,7	66,4	58,7	52,8	43,2	36,6	33,7	31,5	30,1	29,5	28,6	28,4
	hr	780,6	588,1	482,0	408,7	379,2	347,0	317,4	289,0	260,9	231,1	205,9	181,8	158,8	136,6	115,0	79,2	49,7	22,2	4,4	3,0	30,2	51,6	74,0	84,3	96,1	108,1	132,4
	h _v	2777,8	2170,4	1962,2	1801,7	1752,1	1709,1	1668,5	1634,4	1605,1	1576,4	1553,3	1530,2	1510,0	1491,6	1472,0	1441,3	1414,3	1387,0	1365,7	1334,8	1313,5	1305,5	1298,2	1295,6	1292,5	1290,6	1286,1
	X _v	0,0	51,72	67,60	78,86	82,20	84,99	87,40	89,50	91,15	92,57	93,78	94,76	95,91	96,28	97,00	97,87	98,52	99,08	99,41	99,72	99,81	99,92	99,95	99,96	99,97	99,99	100,00
1200	T	188,0	158,4	144,8	132,5	127,5	122,9	118,6	114,0	109,0	105,0	100,6	96,5	92,2	88,6	84,6	77,2	70,0	62,0	55,9	46,4	39,5	37,0	34,6	33,2	32,4	31,6	30,9
	hr	797,7	605,7	514,6	426,2	396,8	363,5	333,7	306,2	278,0	248,1	222,9	198,8	175,8	153,4	132,7	95,9	66,3	38,6	20,7	19,2	45,6	64,8	89,4	99,0	110,3	122,0	146,4
	h _v	2781,0	2182,4	1980,5	1816,2	1767,0	1722,0	1681,3	1646,6	1617,0	1588,0	1563,6	1540,2	1519,5	1501,0	1481,0	1449,3	1421,8	1394,4	1372,0	1337,8	1316,7	1308,0	1300,6	1297,8	1295,0	1292,4	1287,3
	X _v	0,0	50,59	66,67	78,10	81,55	84,46	86,84	89,06	90,77	92,15	93,36	94,38	95,27	95,98	96,64	97,56	98,36	98,94	99,32	99,67	99,86	99,91	99,95	99,95	99,97	99,99	100,00
1400	t	195,0	165,6	152,1	139,4	134,7	129,8	126,1	120,8	115,9	111,5	107,2	103,2	98,6	95,2	90,5	83,0	76,2	68,3	61,7	52,1	45,2	42,4	40,2	38,9	38,2	36,9	36,3
	hr	829,6	638,9	546,6	458,2	429,0	394,5	365,0	337,8	310,0	279,6	254,3	230,8	208,3	186,4	165,8	128,8	97,8	68,7	50,7	48,2	73,4	93,6	116,0	124,6	137,0	148,2	172,3
	h _v	2785,8	2218,2	2010,1	1845,4	1790,0	1744,0	1704,4	1669,2	1639,0	1608,3	1582,0	1558,1	1537,4	1517,5	1496,2	1461,8	1434,0	1404,6	1397,6	1345,6	1321,2	1311,7	1303,8	1300,6	1297,9	1295,1	1289,7
	X _v	0,0	48,90	64,84	76,83	80,27	83,27	85,80	88,10	89,78	91,40	92,62	93,76	94,66	95,45	96,17	97,27	98,06	98,74	99,19	99,62	99,84	99,90	99,94	99,94	99,97	99,99	100,00
1600	T	201,3	171,9	158,7	145,7	140,7	136,0	131,5	126,8	121,9	117,3	112,7	108,9	104,3	100,8	96,4	88,8	81,9	73,7	67,2	57,5	50,3	47,6	45,3	44,2	42,9	42,0	41,0
	hr	857,5	667,0	574,6	486,3	456,5	421,5	391,6	363,2	336,2	307,0	281,8	257,9	236,0	214,2	152,9	155,4	123,8	94,2	76,2	73,2	97,9	118,2	140,5	149,5	160,5	171,5	195,7
	h _v	2789,8	2242,8	2034,5	1871,0	1815,5	1765,1	1725,2	1689,8	1658,0	1627,4	1601,1	1574,8	1553,5	1532,9	1511,0	1468,8	1441,0	1411,2	1386,5	1350,0	1324,5	1314,5	1306,0	1302,4	1299,4	1296,6	1291,3
	X _v	0,0	47,68	63,50	75,45	79,44	82,64	85,13	87,42	89,08	90,78	92,04	93,18	94,20	94,99	95,82	96,77	97,80	98,56	99,08	99,60	99,82	99,89	99,93	99,94	99,96	99,99	100,00
1800	t	207,1	177,8	164,4	151,5	146,2	141,5	136,8	132,2	127,3	122,6	118,0	114,0	109,4	105,9	101,7	94,2	86,8	78,7	72,0	62,3	55,0	52,3	49,7	48,6	47,5	46,6	45,4
	hr	884,0	694,2	602,4	514,2	485,0	449,9	419,7	391,2	365,0	333,4	308,0	283,0	260,0	238,1	216,6	178,1	146,5	116,4	98,4	95,3	120,2	140,2	162,5	172,2	182,8	194,2	217,4
	h _v	2793,0	2268,7	2058,6	1895,7	1838,2	1787,8	1741,8	1708,3	1675,0	1643,2	1616,6	1590,1	1568,0	1545,0	1523,0	1476,9	1449,5	1417,5	1392,1	1354,5	1328,0	1317,0	1307,8	1304,0	1300,9	1297,7	1292,4
	X _v	0,0	46,51	62,18	74,25	78,77	82,04	84,68	86,82	88,37	90,02	91,48	92,71	93,78	94,58	95,40	96,72	97,59	98,42	98,93	99,56	99,81	99,88	99,93	99,94	99,95	99,99	100,00
2000	t	212,4	183,3	169,8	156,4	151,3	146,4	141,5	136,9	132,2	127,5	122,9	118,6	114,4	110,7	106,4	98,9	91,2	83,1	76,4	66,7	59,4	56,3	53,6	52,6	51,7	50,8	49,3
	hr	907,9	719,7	628,2	540,2	511,9	476,7	446,4	417,2	391,0	359,4	334,0	309,8	285,0	262,7	241,1	202,6	170,8	140,4	122,4	118,8	142,0	160,3	182,6	192,5	203,5	214,9	237,4
	h _v	2795,4	2285,5	2081,7	1919,7																							

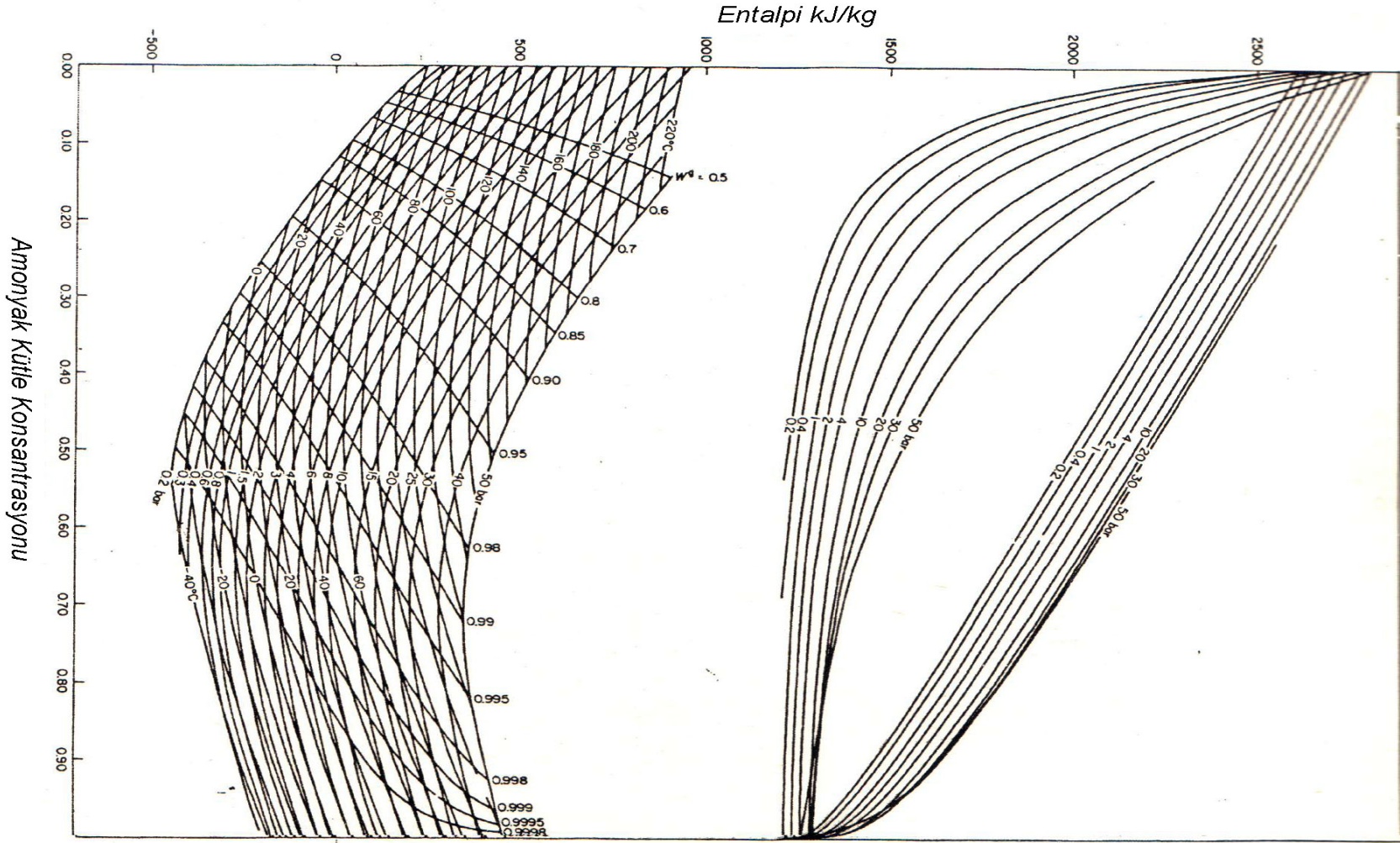
EK-2 NH₃-H₂O Eriyiği için lnP - 1/T Diyagramı (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)



EK-3 NH₃-H₂O Eriyiği için Entalpi-Sıcaklık-Konsantrasyon Diyagramı (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)



EK-4 NH₃-H₂O Eriyiği için Entalpi- Konsantrasyon Diyagramı (Yamankaradeniz, Horuz, & Coşkun, 2002)



EK-5 Bazı istasyonlara ait yeryüzünde yatay düzleme gelen aylık ortalama, tüm (Q, MJ/m²-gün), direkt (Q_D, MJ/m²-gün), atmosfer dışı ışıma (Q_O, MJ/m²-gün), izafi güneşlenme süresi değerleri (T/T₀) (Kılıç & Öztürk, 1983)

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ADANA	Q	7,50	10,60	14,20	17,90	21,60	22,70	21,50	19,50	16,90	12,50	8,80	7,10	15,1
E : 36,6°	Q _D	3,80	5,70	7,90	10,30	13,40	14,10	13,00	11,70	10,40	7,30	4,80	3,60	8,8
Z: 20 m	Q _O	17,10	22,20	28,70	35,10	39,50	41,20	40,30	36,70	30,90	24,10	18,30	15,70	29,2
	T/T ₀	0,49	0,30	0,54	0,58	0,70	0,77	0,81	0,83	0,80	0,70	0,62	0,68	0,7

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ADİYAMAN	Q	6,90	9,50	13,90	18,60	23,40	27,20	27,10	24,50	19,50	13,40	8,50	6,50	16,6
E : 37,4°	Q _D	3,20	4,70	7,70	11,20	15,60	20,30	20,70	18,60	14,00	8,60	4,60	3,10	11,0
Z: 678 m	Q _O	16,60	21,80	28,30	34,90	39,50	41,30	40,30	36,60	30,60	23,60	17,80	15,20	28,9
	T/T ₀	0,42	0,43	0,51	0,58	0,72	0,87	0,92	0,92	0,96	0,74	0,57	0,47	0,7

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ANKARA	Q	5,30	8,40	12,70	17,30	22,00	24,50	25,50	22,70	17,90	12,20	7,60	4,40	15,0
E : 39,6°	Q _D	2,00	3,90	6,70	9,90	13,90	16,40	18,20	16,00	12,20	7,40	3,90	1,60	9,3
Z: 894 m	Q _O	15,30	20,60	27,40	34,40	39,30	41,30	40,30	36,20	29,90	22,50	16,50	13,90	28,1
	T/T ₀	0,29	0,37	0,45	0,51	0,64	0,73	0,84	0,83	0,78	0,67	0,53	0,26	0,6

EK-5 devam

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
AFYONKARAHİSAR	Q	5,90	9,40	13,30	17,80	22,20	24,30	25,30	22,60	17,90	12,20	8,50	5,50	15,4
E : 38,4°	Q _b	2,50	4,70	7,20	10,40	14,20	16,10	17,90	15,90	12,00	7,30	4,70	2,40	9,6
Z: 1034 m	Q _o	16,00	21,20	27,80	34,70	39,40	41,30	40,30	36,40	30,30	23,10	17,20	14,60	28,5
	T/T _o	0,33	0,44	0,47	0,53	0,65	0,72	0,83	0,82	0,76	0,64	0,60	0,37	0,6

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ANTALYA	Q	7,00	10,70	14,00	18,60	22,10	23,80	23,10	20,80	17,50	12,80	9,30	7,10	15,6
E : 36,5°	Q _b	4,00	5,80	8,40	11,10	14,00	15,50	14,90	13,40	11,20	7,70	5,30	3,60	9,6
Z: 42 m	Q _o	17,20	22,30	29,70	35,10	39,50	41,20	40,30	36,80	31,00	24,10	18,30	15,70	29,3
	T/T _o	0,53	0,54	0,57	0,62	0,73	0,82	0,86	0,88	0,83	0,74	0,70	0,55	0,7

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
BALIKESİR	Q	5,30	8,10	11,80	16,60	21,90	24,10	24,20	21,70	17,00	11,10	7,00	4,80	14,5
E : 39,4°	Q _b	2,10	3,60	5,80	9,00	13,70	15,80	16,50	14,70	10,90	6,10	3,30	1,90	8,6
Z: 147 m	Q _o	15,40	20,70	27,40	34,40	39,30	41,30	40,30	36,30	29,90	22,60	16,60	14,00	28,2
	T/T _o	0,33	0,36	0,40	0,49	0,67	0,76	0,84	0,85	0,77	0,60	0,48	0,33	0,6

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
BOLU	Q	4,90	7,90	11,90	16,00	19,90	22,20	22,20	19,60	15,90	10,40	6,70	4,60	13,5
E : 40,4°	Q _b	1,80	3,50	6,00	8,50	11,40	13,40	13,90	12,10	9,70	5,50	3,20	1,80	7,6
Z: 742 m	Q _o	14,80	20,10	27,00	34,20	39,30	41,30	40,20	36,10	29,50	22,10	16,00	13,30	27,8
	T/T _o	0,27	0,35	0,41	0,45	0,54	0,63	0,69	0,68	0,67	0,53	0,45	0,31	0,5

EK-5 devam

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
BURDUR	Q	6,80	10,10	14,10	18,00	23,20	24,90	25,90	23,30	18,50	12,80	8,70	6,10	16,0
E : 37,4°	Q _b	3,20	5,30	7,90	10,50	15,40	17,00	18,80	16,70	12,60	7,80	4,80	2,80	10,2
Z: 967 m	Q _o	16,60	21,80	28,30	34,90	39,50	41,30	40,30	36,60	30,60	23,60	17,80	15,20	28,9
	T/T _o	0,41	0,48	0,51	0,53	0,70	0,75	0,85	0,84	0,78	0,67	0,59	0,41	0,6

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
BURSA	Q	5,20	8,00	11,20	15,80	20,90	23,00	23,20	20,40	16,00	10,60	6,90	5,00	13,9
E : 40,1°	Q _b	2,00	3,50	5,20	8,20	12,60	14,40	15,20	13,10	9,70	5,70	3,30	2,10	7,9
Z: 100 m	Q _o	15,00	20,30	27,10	34,20	39,30	41,30	40,20	36,10	29,60	22,20	16,20	13,50	27,9
	T/T _o	0,31	0,36	0,37	0,45	0,63	0,71	0,79	0,78	0,71	0,58	0,49	0,37	0,5

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ÇANAKKALE	Q	5,40	8,60	12,50	17,70	22,50	23,90	24,20	21,30	16,50	10,90	7,10	5,20	14,7
E : 40,1°	Q _b	2,20	4,20	6,50	10,30	14,60	15,70	16,40	14,10	10,30	6,00	3,50	2,30	8,8
Z: 3 m	Q _o	15,00	20,30	27,10	34,30	39,30	41,30	40,20	36,10	29,70	22,30	16,20	13,60	28,0
	T/T _o	0,34	0,43	0,48	0,57	0,73	0,78	0,87	0,86	0,77	0,62	0,54	0,42	0,6

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ÇANKIRI	Q	4,50	7,40	12,10	16,20	20,50	22,80	23,50	20,40	16,20	11,10	6,50	3,80	13,8
E : 40,4°	Q _b	1,60	3,00	6,10	8,70	12,10	14,30	15,40	13,10	10,00	6,30	2,90	1,20	7,9
Z: 751 m	Q _o	14,80	20,10	27,00	34,20	39,30	41,30	40,20	36,10	29,50	22,10	16,10	13,40	27,8
	T/T _o	0,23	0,39	0,42	0,46	0,57	0,65	0,75	0,72	0,68	0,59	0,41	0,21	0,5

EK-5 devam

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
DENİZLİ	Q	6,80	9,80	13,50	17,40	22,60	24,80	24,80	22,40	18,20	12,40	8,40	6,20	15,6
E : 37,5°	Q _b	3,20	5,00	7,30	9,80	14,60	16,90	17,30	15,50	12,20	7,40	4,40	2,80	9,7
Z: 428 m	Q _o	16,60	21,70	28,30	34,90	39,50	41,30	40,30	36,60	30,60	23,60	17,80	15,20	28,9
	T/T _o	0,42	0,46	0,49	0,52	0,70	0,78	0,84	0,84	0,81	0,66	0,57	0,44	0,6

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ERZURUM	Q	6,00	9,30	13,10	17,50	21,20	24,30	24,80	22,20	17,60	12,20	7,40	5,50	15,1
E : 39,6°	Q _b	2,60	4,80	7,10	10,10	12,90	16,20	17,20	15,30	11,80	7,40	3,80	2,50	9,3
Z: 1869 m	Q _o	15,30	20,60	27,40	34,40	39,30	41,30	40,30	36,20	29,90	22,50	16,50	13,90	28,1
	T/T _o	0,36	0,45	0,47	0,52	0,59	0,72	0,81	0,81	0,76	0,67	0,50	0,40	0,6

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ESKİŞEHİR	Q	5,10	8,20	12,50	16,40	21,50	23,90	24,70	21,80	17,50	11,30	7,00	4,30	14,5
E : 39,5°	Q _b	1,90	3,60	6,40	8,80	13,30	15,60	17,10	14,80	11,60	6,40	3,30	1,50	8,7
Z: 800 m	Q _o	15,40	20,60	27,40	34,40	39,30	41,30	40,30	36,30	29,90	22,60	16,60	13,90	28,2
	T/T _o	0,27	0,35	0,43	0,46	0,62	0,71	0,82	0,80	0,77	0,59	0,45	0,25	0,5

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
İSTANBUL	Q	4,60	7,50	11,00	16,50	20,70	22,60	21,70	19,30	14,90	10,10	6,20	4,30	13,3
E : 41,0°	Q _b	1,70	3,20	5,10	9,00	12,30	14,00	13,20	11,70	8,60	5,30	2,70	1,60	7,4
Z: 0 m	Q _o	14,40	19,80	26,70	34,00	39,20	41,30	40,20	36,00	29,30	21,80	15,70	13,00	27,6
	T/T _o	0,27	0,34	0,37	0,50	0,62	0,71	0,73	0,75	0,67	0,57	0,44	0,31	0,5

EK-5 devam

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
İZMİR	Q	6,80	9,80	13,90	18,20	22,80	23,90	24,10	22,30	18,00	12,40	8,00	6,10	15,5
E : 38,2°	Q _b	3,20	5,10	7,80	10,80	14,90	15,60	16,30	15,40	12,00	7,50	4,10	2,90	9,6
Z: 25 m	Q _o	16,10	21,30	27,90	34,70	39,40	41,30	40,30	36,50	30,30	23,20	17,30	14,70	28,6
	T/T _o	0,45	0,50	0,54	0,59	0,74	0,77	0,85	0,91	0,86	0,73	0,58	0,48	0,7

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
İZMİT	Q	4,70	7,50	10,50	15,00	19,60	21,40	21,10	18,60	14,40	9,30	6,20	4,40	12,7
E : 40,5°	Q _b	1,70	3,20	4,60	7,50	11,10	12,50	12,50	10,90	7,90	4,40	2,70	1,70	6,7
Z: 76 m	Q _o	14,80	20,10	26,90	34,10	39,30	41,30	40,20	36,10	29,50	22,10	16,00	13,30	27,8
	T/T _o	0,26	0,33	0,33	0,41	0,55	0,62	0,67	0,67	0,60	0,46	0,42	0,31	0,5

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
KAYSERİ	Q	6,00	9,20	12,60	16,90	21,30	23,90	25,40	22,60	18,00	12,20	7,80	5,40	15,1
E : 38,4°	Q _b	2,50	4,50	6,40	9,30	13,00	15,50	18,10	15,90	12,00	7,30	4,00	2,20	9,2
Z: 1068 m	Q _o	16,00	21,20	27,90	34,70	39,40	41,30	40,30	36,40	30,30	23,10	17,20	14,60	28,5
	T/T _o	0,33	0,41	0,42	0,48	0,60	0,70	0,85	0,84	0,77	0,64	0,51	0,34	0,6

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
MUĞLA	Q	6,80	9,40	13,60	18,10	22,80	25,10	25,60	23,10	18,70	12,50	8,40	6,20	15,9
E : 37,1°	Q _b	3,10	4,60	7,30	10,60	14,90	17,20	18,50	16,40	12,90	7,50	4,40	2,80	10,0
Z: 646 m	Q _o	16,80	21,90	28,40	35,00	39,50	41,20	40,30	36,70	30,70	23,80	18,00	15,40	29,0
	T/T _o	0,41	0,42	0,48	0,55	0,69	0,77	0,86	0,86	0,82	0,66	0,56	0,43	0,6

EK-5 devam

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ŞANLIURFA	Q	7,00	10,10	14,10	19,00	24,00	26,80	26,30	23,50	19,00	13,60	8,90	6,70	16,6
E : 37,1°	Q _b	3,30	5,30	7,90	11,70	16,50	19,70	19,50	17,00	13,30	8,80	5,00	3,20	10,9
Z: 547 m	Q _o	16,80	22,00	28,40	35,00	39,50	41,20	40,30	36,70	30,80	23,80	18,00	15,40	29,0
	T/T _o	0,43	0,48	0,52	0,61	0,76	0,87	0,90	0,89	0,84	0,76	0,62	0,48	0,7

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
VAN	Q	7,20	10,50	13,90	18,40	23,40	26,50	26,10	23,70	19,10	12,90	8,40	6,60	16,4
E : 38,3°	Q _b	3,70	5,80	7,80	11,00	15,70	19,30	19,10	17,40	13,70	8,10	4,70	3,30	10,8
Z: 1725 m	Q _o	16,10	21,30	27,90	34,70	39,40	41,30	40,30	36,50	30,30	23,20	17,30	14,70	28,6
	T/T _o	0,47	0,52	0,50	0,55	0,70	0,84	0,86	0,89	0,84	0,69	0,57	0,49	0,7

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
YOZGAT	Q	5,80	8,60	12,50	16,90	21,30	23,70	24,70	21,80	17,40	11,90	7,60	5,00	14,8
E : 39,5°	Q _b	2,50	4,00	6,50	9,40	13,00	15,30	17,10	14,80	11,50	7,10	3,90	2,00	8,9
Z: 1298 m	Q _o	15,40	20,60	27,40	34,40	39,30	41,30	40,30	36,30	29,90	22,60	16,60	13,90	28,2
	T/T _o	0,35	0,38	0,43	0,48	0,59	0,68	0,80	0,78	0,74	0,63	0,52	0,33	0,6

		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	ORTALAMA
ZONGULDAK	Q	4,40	7,10	11,10	15,30	19,00	21,80	21,60	19,20	14,80	9,40	6,10	4,20	12,8
E: 41,3°	Q _b	1,50	2,90	5,30	7,80	10,50	13,00	13,10	11,60	8,50	4,60	2,70	1,50	6,9
Z: 136 m	Q _o	14,30	19,60	26,80	33,90	39,20	41,30	40,20	35,90	29,20	21,60	15,50	12,80	27,5
	T/T _o	0,25	0,31	0,38	0,43	0,52	0,66	0,73	0,74	0,66	0,50	0,43	0,30	0,5