

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN EGZOST
GAZLARI İSİSİNDAN YARARLANARAK
ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN
UYGULANMASI**

Mak.Müh. Özlem EMANET (PANZEHİR)

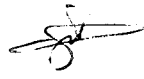
95082

**F.B.E Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Z. Dürriye BİLGE

Z. Dürriye Bilge



Hasan Heperkan



Nurten Vardar



İstanbul, 2000

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ KAYNAKLARI.....	3
2.1 Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Durumu	3
2.2 Enerji Politikaları.....	5
3. KOJENERASYON.....	7
3.1 Kojenerasyonun Tanımı.....	7
3.2 Kojenerasyon Sistemleri	11
3.2.1 Merkezi istasyonlu buhar ve elektrik üretimi.....	12
3.2.2 Endüstriyel tesisler.....	13
3.2.3 Toplam enerji sistemleri.....	13
3.3 Enerji Korunum Potansiyeli	14
3.4 Kojenerasyon Teknikleri.....	19
3.4.1 Gaz türbinli kojenerasyon teknikleri.....	19
3.4.2 Motorlu kojenerasyon teknikleri	21
3.4.2.1 Dizel motorlar.....	21
3.4.2.2 Kıvılcım ateşlemeli motorlar.....	21
3.4.3 Buhar türbinli kojenerasyon teknikleri	23
3.5 Kojenerasyon Sistemi Seçimi.....	24
3.5.1 Yakıt.....	25
3.5.2 Elektrik ısı oranı	25
3.5.3 Yük eğrisi	25
3.5.4 Start sayısı	26
3.5.5 Ortam sıcaklığı	27
3.5.6 Toplam sistem kapasitesi	27
3.5.7 Elektriğin kalitesi.....	27
3.6 Türkiye’de Kojenerasyon Sistemleri	27
4. ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....	29
4.1 Absorpsiyon Prosesi	29
4.2 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Çalışma Prensipleri	30
4.2.1 Absorber ve evaporatör.....	30
4.2.2 Jeneratör ve kondenser.....	31
4.3 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	32
4.3.1 Lityumbromür-su cihazları.....	32
4.3.1.1 Büyük tonajlı lityumbromür-su cihazları.....	32
4.3.1.2 Küçük tonajlı lityumbromür-su cihazları.....	36
4.3.2 Amonyak-su cihazları	38

4.4	Kullanılan Soğutucu-Absorban Çiftleri ve Özellikleri	41
4.5	Denge Diyagramları.....	42
4.6	Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Performansı.....	44
5.	KOJENERASYON SİSTEMİ VE ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ KOMBİNASYONU.....	47
5.1	Kojenerasyon Sisteminden Elde Edilecek Isı Miktarlarının Hesabı.....	50
5.2	Çevrim Verimleri.....	52
6.	SONUÇLAR	59
	KAYNAKLAR.....	60
	ÖZGEÇMİŞ.....	62



SİMGE LİSTESİ

C_p	Sabit basınçtaki özgül ısınma ısısı
f	Yıllık faiz (Dolar)
G_i	Yıllık işletme giderleri
G_K	Cihaz kullanma süresi boyunca elde edilen kar
G_y	İlk yatırım giderleri
h	Entalpi
H_u	Alt ısı değer
m_b	Buhar kütleli debisi
m_{eg}	Egzost gazı kütleli debisi
m_{gs}	Motor gövde suyu kütleli debisi
m_{is}	Ilık su kütleli debisi
m_{ss}	Sıcak su kütleli debisi
$m_{\text{şh}}$	Şarj havası soğutucusu suyu kütleli debisi
q_a	Absorberde atılan ısı
q_c	Kondenserde atılan ısı
q_e	Soğutma miktarı
q_g	Jeneratörde verilen ısı
Q_{eg}	Egzost gazı ısısı
Q_{gs}	Motor gövde soğutucusundan elde edilen ısı
$Q_{\text{şh}}$	Şarj havası soğutucusundan elde edilen ısı
Q_H	Alınan ısı
Q_L	Faydalanılan ısı
t_g	Sistemin kendini geri ödeme süresi
T_a	Absorber sıcaklığı
T_r	Evaporatör sıcaklığı
T_s	Jeneratör sıcaklığı
V_{dg}	Doğalgaz hacimsel debisi
W	İş
Δh	Entalpi farkı
ΔT	Sıcaklık farkı
η	Sistem verimi
η_{el}	Elektrik verimi
η_{th}	Isıl verim

KISALTIMA LİSTESİ

COP	Coefficient of performance
EYO	Enerjiden yararlanma oranı
EIO	Elektrik/ısı oranı
TEP	Ton petrol eşdeğeri



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1	Kojenerasyon ve konvansiyonel sistemlerle enerji üretimlerinin Sankey diyagramıyla karşılaştırılması	9
Şekil 3.2	Bir ısı makinası.....	10
Şekil 3.3	Kojenerasyon formları	12
Şekil 3.4	Merkezi istasyon kojenerasyonu	12
Şekil 3.5	Endüstriyel kojenerasyon sistemleri	13
Şekil 3.6	Bir kazanda enerji akışı.....	14
Şekil 3.7	Bir güç tesisi enerji akışı.....	15
Şekil 3.8	Buhar türbin sistemli kojenerasyon sistemi enerji akışı	16
Şekil 3.9	Kombine çevrimli kojenerasyon sistemi enerji akışı.....	16
Şekil 3.10	Dizel sistemli kojenerasyon enerji akışı.....	17
Şekil 3.11	Birim elektrik başına enerji ihtiyacı.....	18
Şekil 3.12	Dönüşüm verimlilik aralığı	18
Şekil 3.13	Gaz türbinli basit bir kojenerasyon tesisi prensip şeması	19
Şekil 3.14	Gaz motorlu kojenerasyon sistemi prensip şeması.....	22
Şekil 3.15a	Karşı basınçlı buhar türbinli kojenerasyon sistemi prensip şeması	23
Şekil 3.15b	Ekstraksiyon buhar türbinli kojenerasyon sistemi prensip şeması	23
Şekil 3.16	Tipik bir yıllık yük eğrisi	26
Şekil 4.1	Absorpsiyonlu soğutma çevrimi	30
Şekil 4.2	İki gövdeli lityumbromür-su çilleri	33
Şekil 4.3	Tek gövdeli lityumbromür-su çilleri.....	33
Şekil 4.4	İki kademeli jeneratörle tasarlanmış tek gövdeli lityumbromür-su çilleri	34
Şekil 4.5	Direkt ateşlemeli lityumbromür çevrimli su çilleri	37
Şekil 4.6	Tipik solar ısıtma/absorpsiyonlu soğutma uygulaması.....	38
Şekil 4.7	Direkt ateşlemeli hava soğutmalı amonyak-su çilleri.....	40
Şekil 4.8	Lityumbromür-su sistemi için tipik eriyik çevrimini gösteren denge diyagramı ..	43
Şekil 5.1	Kojenerasyon ve absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik resmi	48
Şekil 5.2	Sistemlerin kullanım sürelerine göre karlılık durumları.....	58

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Elektrik enerjisi talebi.....	4
Çizelge 5.1 Sistemin ürettiği ısılar	53
Çizelge 5.2 Absorpsiyonlu çillerin özellikleri	53
Çizelge 5.2 Soğutma kulesi özellikleri.....	53
Çizelge 5.4 Sistemin ilk yatırım giderleri.....	54
Çizelge 5.5 Sistemin işletme giderleri.....	55
Çizelge 5.6 Sistemin kullanım süresine göre karlılık değerleri	56
Çizelge 5.7 Sistemin ürettiği ısılar	57
Çizelge 5.8 Sistemin işletme giderleri.....	57
Çizelge 5.9 Sistemin kullanım süresine göre karlılık değerleri	58



ÖZET

Günümüzde enerji gereksinimi hızla artmış ve buna bağlı olarak da petrol bazlı yakıtlar doğal gaz, kömür rezervleri gibi birincil enerji kaynakları da hızla azalmıştır. Ülkemiz enerji kaynakları açısından zengin bir ülke değildir ve bu kaynaklar yıllık birincil enerji ihtiyacının karşılanmasında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yeni kaynaklara yönelme veya eldeki kaynakları daha verimli kullanma zorunluluğu doğmuştur. Bu aşamada kojenerasyon sistemleri gündeme gelmektedir. Bu sistemler özellikle kaliteli elektrik enerjisi ihtiyacı bulunan tesislerde gerekli elektriği üretmekte hem de elde edilen atık ısıların proseste kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlamaktadır. Proses ısısına ihtiyaç duyulmayan tesislerde ise mevcut atık ısı absorpsiyonlu soğutma sistemleri kullanılarak değerlendirilme yoluna gidilmektedir. Bu sayede tesisin soğutma ihtiyacı da karşılanmış olmaktadır. Kojenerasyon sistemleri kendilerini 1.5-3 yıl gibi bir sürede geri ödemektedirler. Bu çalışmada Türkiye'deki enerji durumu incelenmiş, kojenerasyon sistemleri ve absorpsiyonlu soğutma sistemleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Ayrıca örnek bir tesis ele alınarak kojenerasyon sistemine ait fizibilite çalışması yapılmıştır.



ABSTRACT

Energy demand has increased rapidly in the recent years reducing the primary energy resources such as oil, natural gas, coal, etc. Turkey does not have vast energy resources and the existing ones are not enough to meet the national demand. For this reason, we have to use our sources productively. Cogeneration systems not only produce high quality electricity but also conserve energy by using waste heat during the process. If process heat is not needed, it is possible to use this waste heat in absorption chillers for air conditioning. Cogeneration systems amortise themselves in 1.5-3 years. In this study, energy sources in Turkey are examined and detailed information on cogeneration and absorption refrigeration systems is given. A feasibility study is done for a sample system.



1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması çeşitli sorunlarla birlikte enerji ihtiyacının karşılanması problemi de gündeme getirmiştir. Günümüzde, sanayileşme ve kalkınmanın en önemli girdileri arasında yer alan enerji, bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de önemini ve güncelliğini sürdürmektedir. Teknolojik gelişmeler sonucu enerji gereksinimi hızla artmış ve buna bağlı olarak da petrol bazlı yakıtlar doğal gaz, kömür rezervleri gibi birincil enerji kaynakları da hızla azalmıştır. Ülkemiz enerji kaynakları açısından zengin bir ülke değildir ve bu kaynaklar yıllık birincil enerji ihtiyacının karşılanmasında yetersiz kalmaktadır. Türkiye'deki enerji kaynaklarının durumu ve enerji politikaları ile ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 2'de anlatılmaktadır.

Yukarıda bahsedildiği gibi enerji ihtiyacının artması, kaynakların yetersizliği, enerji maliyetinin yüksek oluşu ve elektrik kalitesinin düşük olması sonucunda, kojenerasyon tekniği uygulamaları gündeme gelmiştir. Özellikle tekstil, kağıt, kimya, gıda gibi hem kaliteli elektrik hem de ısı gereksinimi olan sektörler için kojenerasyon sistemlerinin daha karlı, daha zorunlu ve daha güncel olacağı düşünülmektedir.

Kojenerasyon sistemleri ülkemizde de yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerin çoğu, tesislerin elektrik ihtiyacı baz alınarak kurulmaktadır. Özellikle ısı ihtiyacı olmayan tesislerde çok miktarda atık ısı meydana geldiğinden oldukça düşük çevrim verimlerinde çalışılmaktadır. Bu çalışmanın amacı proses ısısına ihtiyaç duyulmayan tesislerde oluşan atık ısı ile absorpsiyonlu soğutma sistemleri kullanarak soğutma yükünün karşılanabileceğini ve kayda değer bir enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektir.

Kojenerasyon tesislerinin toplam enerji çevrim verimlerinin şebeke santrallerinin verimlerine göre daha yüksek olmasından dolayı yılda 2 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu değer ise ülkemizde çıkartmaya çalıştığımız doğal gaz miktarının 11 katıdır. Dünyada II.Dünya Savaşından beri kullanılmakta olan kojenerasyon teknolojisini, Türkiye'de çeşitli devlet kuruluşları, fabrikalarının atık ya da yan ürünlerini değerlendirmek suretiyle 30 yıldan beri kullanmışlardır. Bu suretle, bugüne kadar 1040MW kapasitede kojenerasyon tesisi kurulmuş ve işletilmiştir. Kojenerasyon, son zamanlarda endüstriyel bir tesisin elektrik ve buhar ihtiyacını karşılayan favori bir sistem halini almıştır. Bu sistemlere ait tanımlar, seçim kriterleri ve Türkiye'deki kojenerasyon sistemlerinin durumu ile ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 3'de verilmektedir.

Öte yandan, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin, bir atık ısı kaynağının mevcut olduğu durumlarda kullanılabilir avantajlı bir soğutma sistemi olduğu bilinmektedir. Özellikle kojenerasyon sisteminin ürettiği ısıya ihtiyaç duyulmayan işletmelerde, yazın soğutma yükünü karşılamak amacıyla bu sistemler kullanılmaktadır. Bölüm 4’de söz konusu sistemlerin çalışma prensibi, sistem performansı anlatılmakta ve kendi arasındaki sınıflandırılması yer almaktadır.

Bölüm 5’de kojenerasyon ve absorpsiyonlu soğutma sistemleri kombinasyonu incelenmektedir. Bu bölümde aynı zamanda, bir örnek sistem ele alınarak üretilen tüm ısının ve bir kısmının kullanılması durumunda sistemin kendini geri ödeme süresi hesaplanmaktadır.

Bölüm 6’da ise yukarıda bahsedilen hesaplamalar ve incelemelerin sonuçları üzerinde durularak seçilen sistemin hangi şartlarda daha verimli olarak çalışacağı anlatılmıştır.



2. ENERJİ KAYNAKLARI

2.1 Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Durumu

Günümüzde, sanayileşme ve kalkınmanın en önemli girdileri arasında yer alan enerji, bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de önemini ve güncelliğini sürdürmektedir. Enerji kullanımı, endüstrileşme ve ekonomik gelişme ile yakından ilgili olup, enerji tüketimi, refah seviyesinin yükselmesiyle hızla artmaktadır. Ülkemizde de hızla artan enerji talebinin karşılanması zor olup, enerji kaynağının seçiminde dikkatli olunması gerekmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalara göre 1997 yılında 71 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) olan birincil enerji tüketimimizin 2000 yılında 91 milyon TEP, 2010 yılında 167 milyon TEP, 2020 yılında 307 Milyon TEP’e ulaşması beklenmektedir. Çizelge 2.1’de, yıllara göre sektörel elektrik enerjisi talep tahminleri görülmektedir (Mendilcioğlu,1998).

Yerli enerji üretimi, toplam birincil enerji talebinin 1997’de %41’ini karşılamış olup, 2000’de %34’ünü, 2010 yılında ise %30’unu ve 2020 yılında ise %26’sını karşılayacaktır.

Görüldüğü üzere, ülkemiz enerji bakımından dışa bağımlı ülkeler arasındadır. Bu nedenle, uygulamakta olduğumuz enerji politikalarımızın ana prensibi güvenilir, ucuz, kaliteli enerjiyi zamanında tüketicilere temin etmek ve enerji üretiminde yerli kaynakları öncelikli kullanmaktır. Ülkemiz enerji kaynakları açısından zengin bir ülke değildir. Petrol ve doğal gaz rezervlerimiz son derece kısıtlıdır. 8 milyar ton civarındaki kömür rezervlerimizin büyük bir kısmının kalitesi düşüktür. Linyit ve taşkömürü olarak elektrik enerjisi üretimine müsait olan potansiyel yılda 120 milyar kWh’dir. Teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir hidrolik potansiyelimiz ise 125 milyar kWh/yıl dır. Bu nedenle, ihtiyacımız olan enerji kaynaklarının önemli bir kısmını ithal etmek zorundayız.

1997 yılında 103 milyar kWh/yıl olan elektrik enerjisi arzımız 2000 yılında 134 milyar kWh/yıl, 2010 yılında 290 milyar kWh/yıl ve 2020 yılında ise 547 milyar kWh/yıl’a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Söz konusu talebi karşılamak için 2010 yılı sonuna kadar yaklaşık 43000 MW’lık kapasitenin sisteme ilave edilmesi gerekmektedir. 2020 yılına gelindiğinde, mevcut kapasiteye 44000 MW’lık bir ilave daha yapılması gerekmektedir. Bu da 2010 yılına kadar mevcut sisteme yılda ortalama 3500 MW kurulu güç ilavesi, başka bir ifadeyle, her yıl

Çizelge 2.1 Elektrik enerjisi talebi (GWh) (Enerji İstatistikleri,1997)

YILLAR	BRÜT TALEP	NET TALEP	SANAYİ (*)	KONUT	ULAŞTIRMA	TARIM	FERT BAŞINA TÜKETİM (kWh/kışı) (Brüt)
1997	105.250	84.365	47.481	34.513	663	1.708	1.639
1998	113.750	93.571	53.089	37.863	796	1.823	1.743
1999	123.650	103.782	59.343	41.538	955	1.946	1.866
2000	134.307	115.107	66.315	45.570	1.145	2.077	1.995
2001	146.195	125.111	72.250	49.430	1.267	2.164	2.139
2002	158.023	135.986	78.711	53.617	1.403	2.254	2.278
2003	170.807	147.805	85.744	58.159	1.553	2.349	2.426
2004	184.624	160.651	93.399	63.086	1.719	2.447	2.583
2005	199.560	174.614	101.732	68.430	1.903	2.549	2.751
2006	215.159	188.748	110.620	73.222	2.079	2.827	2.922
2007	231.794	204.025	120.269	78.349	2.271	3.136	3.102
2008	249.716	220.540	130.745	83.836	2.481	3.478	3.292
2009	269.021	238.391	142.116	89.706	2.710	3.858	3.494
2010	289.820	257.687	154.459	95.988	2.961	4.279	3.709
2011	308.807	274.940	166.438	100.836	3.195	4.471	3.897
2012	329.062	293.349	179.300	105.930	3.447	4.672	4.096
2013	350.653	312.990	193.108	111.280	3.719	4.882	4.304
2014	373.659	333.946	207.931	116.901	4.013	5.102	4.523
2015	398.168	356.306	223.839	122.806	4.330	5.331	4.753
2016	424.286	380.162	240.911	129.009	4.672	5.570	4.995
2017	452.123	405.616	259.229	135.525	5.041	5.821	5.249
2018	481.780	432.773	278.882	142.370	5.439	6.082	5.516
2019	513.386	461.750	299.964	149.562	5.869	6.355	5.797
2020	547.060	492.666	322.577	157.116	6.332	6.641	6.092

ortalama 3.5 milyar dolarlık bir yatırım ihtiyacını zorunlu kılmaktadır. İletim ve dağıtım sistemine yapılacak ilave yatırımlar ile bu miktar yılda 4.5 milyar dolara yükselmektedir. Söz konusu yatırımın tümüyle ülkemizin kamu kaynakları tarafından karşılanması mümkün değildir. (Mendilcioğlu,1998). Bu nedenle, özel sektörün elektrik enerjisi üretmesinin sağlanması, bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.2 Enerji Politikaları

Enerji rezervlerinin sınırlı olduğu ülkemizde, yeni yatırımlar yapılmadığı takdirde, yakın bir gelecekte enerji sorunları ve elektrik kısıtlamaları olacağı da gözönüne alınarak kısa ve uzun vadeli enerji politikaları belirlenmesi gerekir. (Abut vd.,1997).

Elektrik sektöründe uygulanacak bu politikalarla, ülkemiz elektrik ihtiyacının zamanında, güvenilir, kaliteli, bol ve ucuz olarak karşılanması amaçlanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda uygulanması gereken politikaları şöyle özetleyebiliriz:

- Elektrik üretim ve dağıtım tesislerinde yeni yenileme ve idame yatırımlarının planlandığı şekilde ve zamanında yapılması, mevcut üretim tesislerinin daha iyi işletilmesi sağlanarak, emre amade kapasitesinin kurulu kapasiteye doğru artırılması.
- Elektrik üretiminde su ve linyit gibi yerli kaynaklara öncelik verilmesinin yanısıra, kaynak çeşitliliği, güvenilirlik, minimum maliyet ve elektrik ihtiyacının karşılanması çerçevesinde çalışmalar yapılması.
- Elektrik üretim ve tüketim incelemeleri, yakın zamanda alternatif enerji kaynaklarının kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu çerçevede, nükleer teknoloji ile enerji üretilmesi yoluna gidilmesi.
- Kömüre dayalı termik santrallerin çevreye verebilecekleri zararı önlemek amacıyla, analiz sonuçlarına göre zorunlu görülen tüm mevcut ve tasarım aşamasındaki projelerin baca gazı, kükürt dioksit giderme ünitelerinin ilave edilmesi.
- Bölge ülkeleriyle gerekli elektrik bağlantılarının tesisi ile kapasite fazlası elektriğin satılması.
- Elektrik sektöründeki işletme, bakım ve servis hizmetleriyle arz edilen elektriğin kapasitesinin korunması ve iyileştirilmesi doğrultusunda mevcut düzenlemelerinin revize edilmesi, yeni denetleme ve düzenleme mekanizmalarının kurulması.

- Elektrik sektöründe hizmetlerin daha rasyonel yürütülmesi, verimliliğin artırılması için özelleştirme çalışmalarına hız verilmesi, kapsamlı bir özelleştirme programıyla yerli ve yabancı sermayenin elektrik sektörüne katılımının artırılması.

Hedeflenen kalkınma hamlelerini gerçekleştirebilmek için gerek duyulan enerjinin temini yolunda Devlet-Özel Sektör-Yabancı Sermaye'nin işbirliği yapması için önemli çabalar sarfedilmektedir. Bu çerçevede hukuki düzenlemeler yapılarak özel sektör ve yabancı sermayenin sektöre Yap-İşlet-Devret, Yap-İşlet, İşletme Hakkı Devri ve Otoprodüktör modelleri ile yatırım yapmalarına imkan sağlanmıştır.

Otoprodüktörlük uygulamasının amacı, özellikle sanayi sektöründe enerji verimliliğini sağlamak, sanayi ürünleri içindeki enerji maliyet payının düşürülerek birim maliyeti azaltılması yoluyla sektörün dış pazarlardaki rekabet gücünü arttırmak, sektöre güvenilir ve ucuz enerji temin etmenin yanısıra birincil enerji kaynaklarından tasarruf etmek ve enerji yatırımlarına katkıda bulunulmasını sağlamaktır. Otoprodüktör sistemi ile kojenerasyon tesislerinin kurulması ve sayılarının hızla artması hem enerji sektörü için hem de tesis sahipleri için büyük avantajlar sağlamaktadır. Otoprodüktör statüsünde gerçekleştirilen yatırımlara, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından destek verilmektedir (Mendilcioğlu,1998).

3. KOJENERASYON

3.1 Kojenerasyonun Tanımı

Kojenerasyon, tek bir sistemden eş zamanlı olarak elektrik ve/veya mekanik güç ile kullanılabilir ısı üretilmesi demektir. Sistemin ana amacı, konvansiyonel mantıkta sadece elektrik üreten termik güç santrallerinden aynı zamanda ısı enerjisi elde edilmesidir (Combined Heat and Power). Mekanik güç genellikle bir elektrik jeneratörünün güç kaynağı olarak kullanılmakla birlikte pompa veya kompresörlerin tahrik kaynağı olarak da kullanılmaktadır.

Kojenerasyon tesisleri, kurulduğu işletmelere enerjilerini şebeke satış fiyatının daha altında kesintisiz üretme olanağı sağlarken, devletimizin omuzları üzerinden de senede 400-500 milyon dolarlık bir yatırım yükünü almaktadır. Kojenerasyon tesisleri enerjinin tüketildiği yerlere kurulmasından dolayı, genel olarak %10 –20 arasında değişen hat kayıplarından kurtularak; 500-600 MW'lık enerji tasarrufu yapılmaktadır. Ayrıca kojenerasyon tesislerinin toplam enerji çevrim verimlerinin şebeke santrallerinin verimlerine göre daha yüksek olmasından dolayı yılda 2 milyon TEP (Ton Petrol Eşdeğeri) enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu değer ise ülkemizde çıkartmaya çalıştığımız doğal gazın miktarının on bir katıdır (Topuz, 1998).

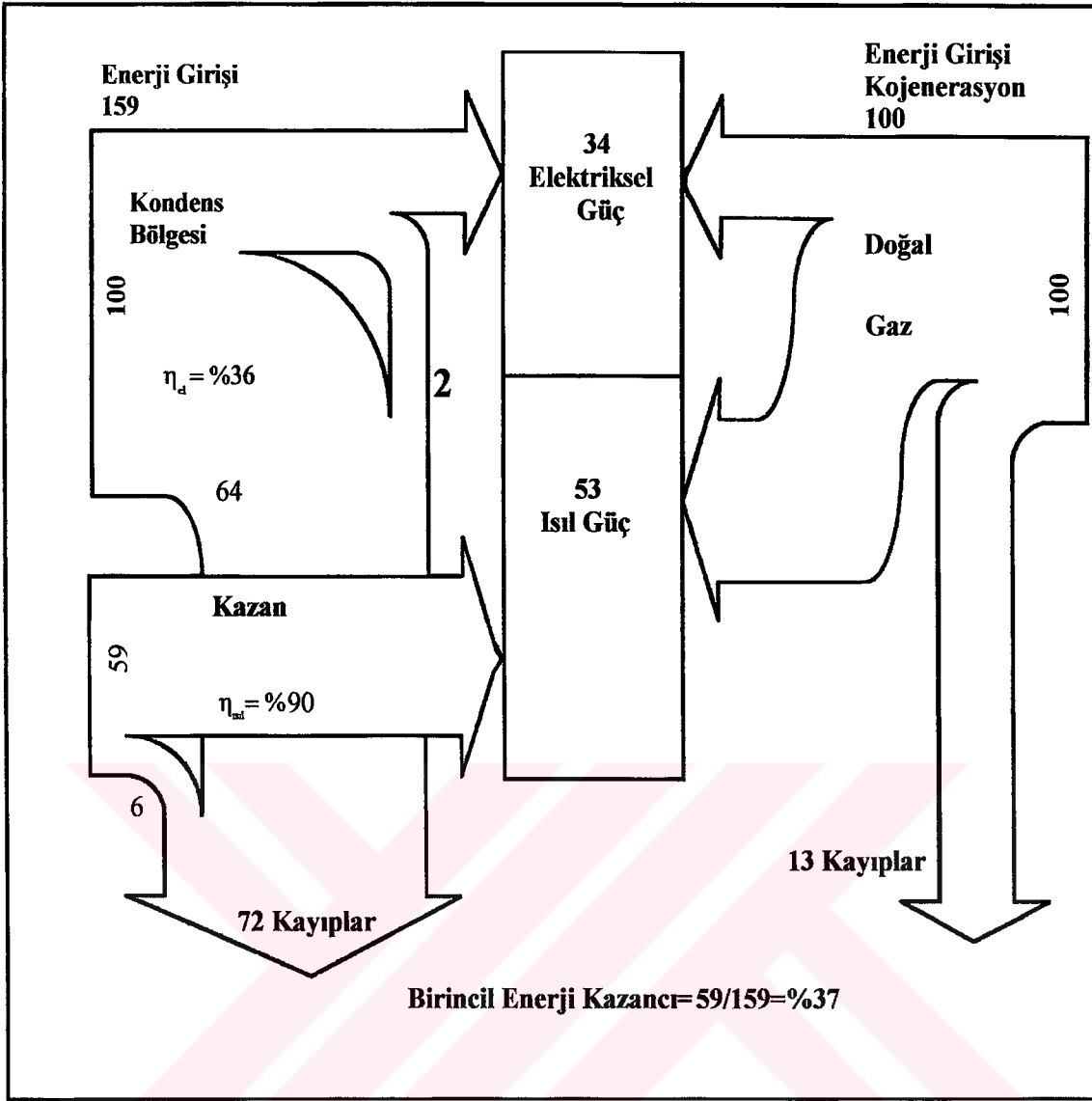
Dünyada 2.Dünya Savaşından beri kullanılmakta olan kojenerasyon teknolojisini, Türkiye'de çeşitli devlet kuruluşları (kağıt ve şeker fabrikaları, petkim, tüpraş, demir-çelik tesisleri) fabrikalarının atık ya da yan ürünlerini değerlendirmek suretiyle 30 yıldan beri kullanagelmışlerdir. Bu suretle bugüne kadar 1040 MW kapasitede kojenerasyon tesisinin kurulduğunu ve işletildiğini görüyoruz. Bu uygulamaların büyük bir kısmı otoprodüktörlük kararnamesinin yayınlanmasından önce yapılmıştır. 04.09.1985 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından çıkartılan otoprodüktörlük yönetmeliği, 3096 sayılı yasaya dayanarak, özel sektörün kojenerasyon tesisleri kurmasını teşvik etmiştir. Bu suretle, Türkiye'de başta tekstil sektörü olmak üzere çeşitli sanayiciler fabrikalarının elektrik ve ısı ihtiyacını karşılamak için kendi kojenerasyon tesislerini kurmaya başlamışlardır. Yani kojenerasyon uygulamaları Türkiye'de endüstriyel kojenerasyon olarak başlamıştır. Esasında Avrupa'da kojenerasyon, şehir, toplu konutların bir merkezden ısıtılması şeklinde yani ısı üretim amaçlı olarak başlamış, elektrik üretimi bir yan ürün olarak ortaya çıkmış ve değerlendirilmesi yönüne gidilmiştir. Kojenerasyonda en yüksek fayda, projenin ısı amaçlı

olarak tasarlanmasıyla ve ısı/elektrik oranının 3/2'ye yakın tutulmasıyla sağlanmaktadır. Isı enerjisinin tamamının değerlendirildiği (ısıtmada, proseste, ya da soğutmada) kojenerasyon projelerinde yan ürün olarak ortaya çıkan elektriğin civar sanayi tesislerinde, konutlarda kullanılmasıyla ya da hiç değerlendirilmediği projeler basit çevrim (simple cycle) sistemleridir ve maalesef Türkiye'deki uygulamaların çoğunluğu bu tarife girmektedir. Bu sistemler kojenerasyon esasına göre tasarlanmış olsalar bile işletmede ısı üretim kapasitesi yeterince değerlendirilmediği için bunlar tipik otoprodüktör tesisleridir; Yani yatırımcının kendi fabrikasının ihtiyacını karşılamak ve kapasite fazlası elektriği şebekeye vermek (satmak) amacıyla kurulmuş oldukları için kojenerasyon teknolojisinin getirdiği çok yüksek çevrim veriminden yeterince yararlanamamaktadır. Otoprodüktör tesisleri verimleri %50-60 arasında kalmaktadır. Bu da kombine çevrimli doğal gaz santral verimine eşdeğerdir (Ağış,1998) .

Konvansiyonel enerji üretim sistemleri (termik santrallerde elektrik, kazanlarda ısı üretimi) çevreyi kirletmekte ve primer enerjinin yaklaşık %55-65'ı atık ısı olarak ziyan olduğundan hiç ekonomik olmamaktadır. Buna karşılık bir kojenerasyon sisteminde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan ısı, eşanjörler yardımı ile çeşitli ısı ihtiyaçları için (sıcak su, buhar, absorpsiyonlu soğutma vb.) değerlendirilmektedir. Gazla çalışan CHP (Combined Heat and Power – Bileşik ısı ve Güç) sistemlerinde elektrik ve ısının eş zamanlı üretilmesiyle %80-90 oranında verim elde edilebilmektedir. Böylece primer enerjinin atılan kısmı minimize edilmektedir. Bu yüksek sistem verimi sayesinde kojenerasyon sistemi, ilk yatırım tesis giderini 1.5-3 sene gibi çok kısa bir sürede geri öder (Külçe vd,1996). Kojenerasyonla yapılan ısı ve güç üretiminin ekonomik öneminin yanında çevresel atıklar yönünden değerlendirildiğinde önemi daha da artmaktadır. Yalnızca elektrik üretmek amacıyla kurulmuş santrallerle kıyaslandığında , hemen hemen aynı miktarda yakıt kullanan bir kojenerasyon santralında elde edilen her kW enerjiye karşılık çok daha az CO₂, Nox ve SO₂ gazları atmosfere bırakılmaktadır (Dilip,1992).

Şekil 3.1'de konvansiyonel ve kojenerasyon sistemleri ile enerji üretimi bir Sankey diyagramı üzerinde karşılaştırılmıştır. Görüleceği üzere; 34 birim elektriksel, 53 birim ısıl güce sahip olan bir tesisin bu ihtiyaçlarını karşılamak için; konvansiyonel sistemde 159 birim enerji gerekirken, kojenerasyon sistemiyle 100 birim enerji yeterli olmaktadır.

Kısaca özetlersek kojenerasyon sistemi tüm ısı makinalarının çevreye vermek zorunda oldukları atık ısıdan yararlanmayı amaçlar.

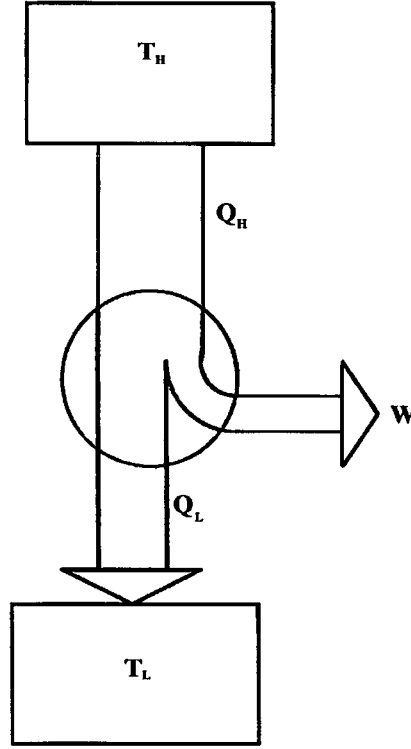


Şekil 3.1 Kojenerasyon ve konvansiyonel sistemlerle enerji üretimlerinin Sankey diyagramıyla karşılaştırılması (Külçe vd,1996).

Şekil 3.2'deki ısı makinasından da görüleceği üzere, bir ısı makinasında üretilen işin (W), alınan ısı enerjisine (Q_H) oranı, ısı verim, η 'dir.

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \quad (3.1)$$

Bu ısı verime kojenerasyon uygulamalarında elektrik çevrim verimi adı da verilmektedir.



Şekil 3.2 Bir Isı Makinası

Çevreye aktarılan ısı enerjisi, Q_L , kojenerasyon sisteminde kullanılan ısıdır. Böylece enerjiden yararlanma oranı (EYO) maksimum düzeye çıkartılmaktadır.

$$EYO = \frac{W + Q_L}{Q_H} \quad (3.2)$$

EYO'ya kojenerasyon uygulamalarında toplam verim de denilmektedir. Her ne kadar EYO, termodinamiğin birinci yasasına göre "1" olsa da, uygulamada atık ısının tümünden yararlanılmadığından bu mümkün olmamaktadır. Bu atık ısıdan, doğrudan ısı olarak yararlanılmadıkça, %35-55 aralığında uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bileşik çevrimde dünyadaki en iyi örneklerinden biri olmasına rağmen, Ambarlı Bileşik Çevrim Santrali'nde bu verim değeri %50 civarında kalmaktadır (Külçe vd,1996). Oysa atık ısıdan, gene ısı olarak faydalanılan kojenerasyon sisteminde toplam sistem verimini yani Enerjiden Yararlanma Oranını (EYO) %80-90'lara dek çıkarmak mümkün olmuştur.

Bileşik ısı güç santrallerinde üretilen işin (elektriğin) faydalanılan ısıya oranı, elektrik ısı oranı, EIO diye tanımlanır. Termodinamiğin birinci yasası uyarınca ısıl verimle de gösterilebilir (Eşitlik 3.3). EIO, kojenerasyon sisteminin önemli özelliklerinden biridir.

$$EIO = \frac{W}{Q_L} = \frac{\eta}{1-\eta} \quad (3.3)$$

Türbinlerde ise genellikle EIO'nun tersi (1/EIO) olan ısı oranı temel parametrelerden birisi olarak verilir (Eşitlik 3.4).

$$\text{Isı Oranı} = \frac{Q_L}{W} = \frac{1-\eta}{\eta} \quad (3.4)$$

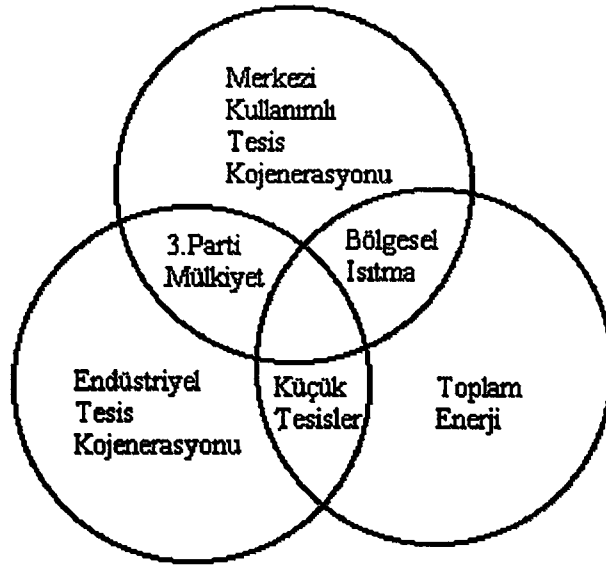
3.2 Kojenerasyon Sistemleri

Üç ayrı kojenerasyon yaklaşımı vardır (Wilkinson, 1980) :

- Merkezi Kullanımlı Tesis Sistemleri
- Endüstriyel Tesis Sistemleri
- Toplam Enerji ya da Modüler Entegre Edilmiş Sistemler

Bu üç formdaki kojenerasyon sistemlerinin temel nitelikleri Şekil 3.3'de görülmektedir. Hiçbirinin nitelikleri tam değildir. Çoğu uygulamalarda, birbiriyle kesişebilirler. Kojenerasyon terimi, çift amaç için üretilen ısı cinsinden enerji dönüşüm projesini karakterize eder. Genellikle elektrik ve yararlı ısı (sıcak su veya buhar formunda) üretmek için kullanılırlar. Aslında çoğu çift amaçlı proses, elektrik güç üretimi için enerjinin kullanım verimliliğini artırır.

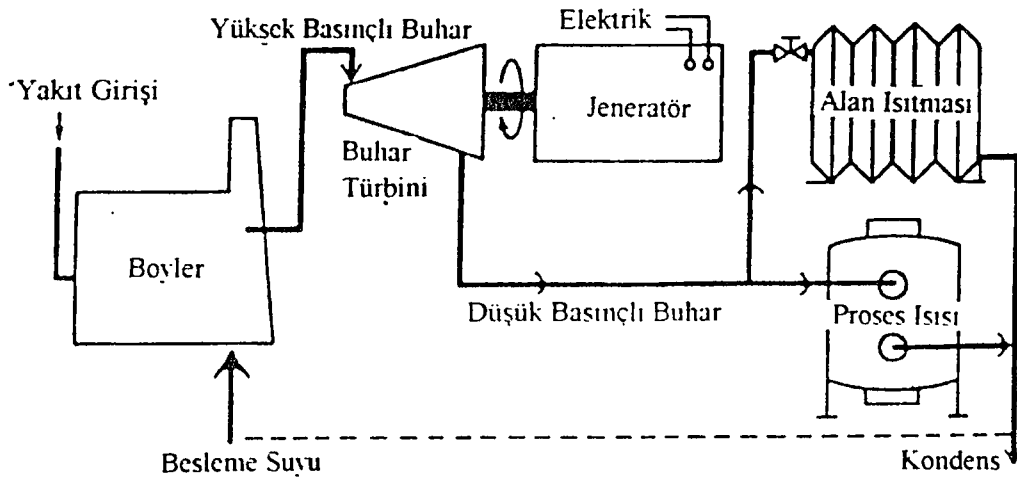
Merkezi ısıtma buharı / elektrik kojenerasyonu ve endüstriyel tesislerdeki kojenerasyon 50 yıldan fazladır kullanılmaktadır. Ancak Toplam Enerji Sistemi gibi bazı kavramlar yeni ele alınmaktadır.



Şekil 3.3 Kojenerasyon formları (Wilkinson, 1980)

3.2.1 Merkezi istasyonlu buhar ve elektrik üretimi

Büyük merkezi istasyon güç tesislerinde kojenerasyon, (Şekil 3.4) ticari binalarda ve konutlarda alan ısıtması ve sıcak su eldesi ve endüstri tesislerinde düşük sıcaklıkta proses ısısı ya da her ikisini sağlar.

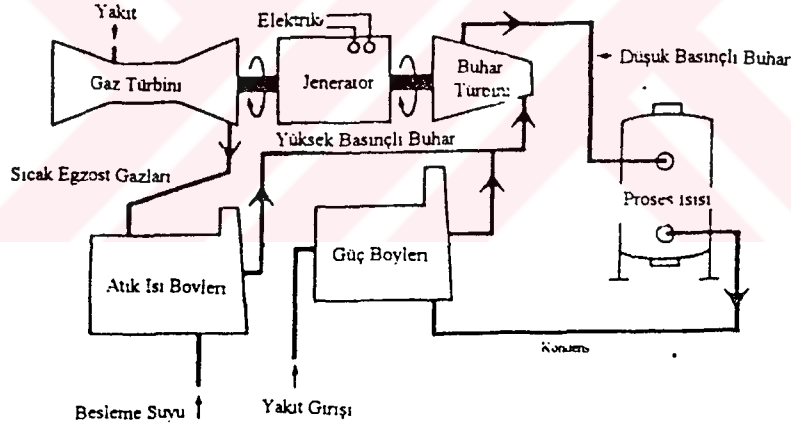


Şekil 3.4 Merkezi istasyon kojenerasyonu (Wilkinson, 1980)

Bu sistemler aynı anda buhar ve elektrik üretirler. Son yıllarda bölgesel ısıtmada küçük, tek amaçlı, düşük basınçlı buhar üretimi yerine, büyük, yüksek basınçlı elektrik üretim istasyonları tercih edilmektedir. Çift amaçlı sistemlerin yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin daha kompleks ve yüksek olmasına rağmen, yakıt fiyatlarındaki artışlara bakılırsa karlılığı artırmaktadır.

3.2.2 Endüstriyel tesisler

Birçok tesiste (kağıt, kimya, petrol gibi elektriğin ve buharın büyük ölçülerde kullanıldığı endüstrilerde) kojenerasyon tercih edilmektedir. Mevcut tesislerde yeni ya da daha verimli çift amaçlı kojenerasyon sistemleri kurulmaktadır. Örneğin kombine çevrim kojenerasyon sistemi kullanan bir kimya fabrikası (Şekil 3.5) 30 yıl önceki tesisinden %30 daha fazla yakıt tasarrufuyla çalışır. Yıllık yaklaşık 50 milyon kWh elektrik üreten bir tesiste, yılda 265 trilyon kJ tasarruf sağlanacaktır.



Şekil 3.5 Endüstriyel kojenerasyon sistemleri (Wilkinson, 1980)

3.2.3 Toplam enerji sistemleri

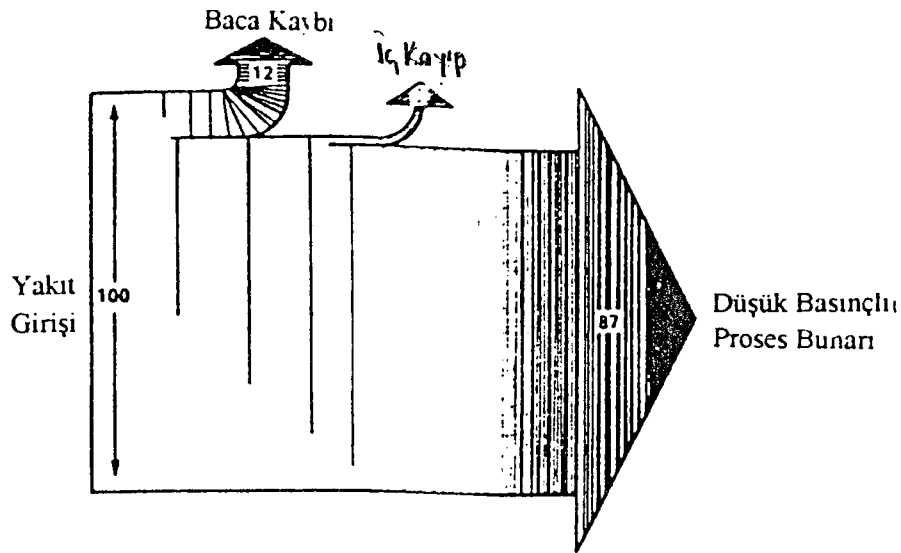
Elektrik ve ısı üretimi sağlayan çift amaçlı sistemler apartmanlarda, alışveriş merkezlerinde, üniversitelerde ya da endüstriyel parklarda kullanılmaktadır. Ancak bu küçük sistemler yüksek maliyetlidirler. Küçük kazan ve jeneratörler için birim buhar ya da elektrik çıkışı başına yatırım maliyeti, büyük endüstriyel ya da merkezi sistemlere göre %50-100 daha fazladır. Yüksek bakım ve işçilik maliyetleri de işletim maliyetini artırır. Elektrik ve ısı için

kullanıcı talebi saatlik, günlük ve mevsimlik olarak değişir. Çoğu ekipman aralıklı olarak çalışırlar. Ancak pik talebini de güvenli olarak karşılamak için ekipmanlar hazır beklemelidir. Gerekenden fazla ekipman da elektrik ve ısının birim maliyetini artırır.

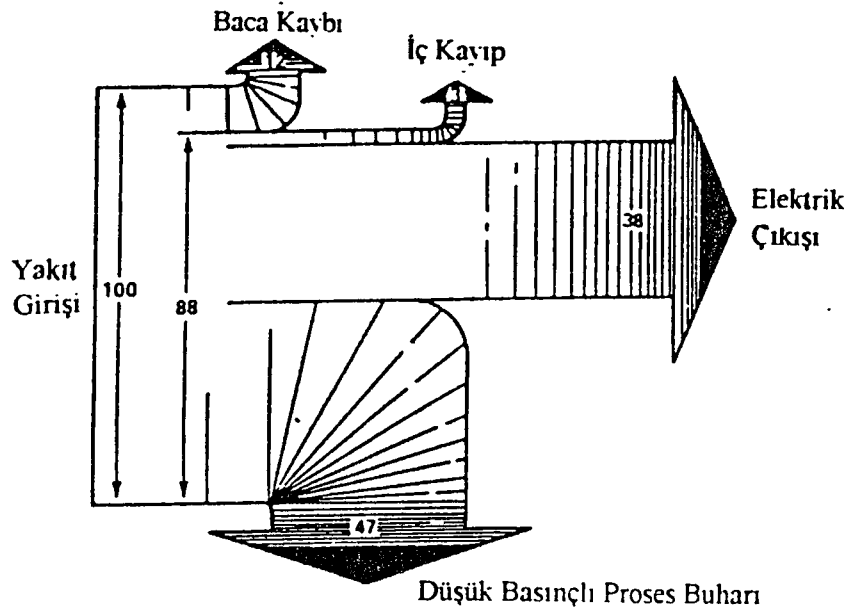
Gelişen teknolojilerle küçük sistemler daha ekonomik hale gelmektedirler. Bu tip uygulamalarda küçük bir gaz türbini, kazan ve bir buhar türbini güvenilir ve düşük işletim ve bakım maliyetleri ile üretim yapabilirler.

3.3 Enerji Korunum Potansiyeli

Enerji korunum potansiyeli, kullanıcının ısı ve elektrik talebine kojenerasyon sistem tipine bağlıdır. Buhar türbinleri, gaz türbinleri ve dizel motorlar farklı elektrik/ısı oranında üretim yaparlar. Yakıt korunumu kojenerasyon sisteminin enerji çıkış tipiyle, kullanıcının bütün ihtiyaçlarını karşılama yeteneğine bağlıdır. Kojenerasyon sistemlerinde ısı çıkışı için kullanılan başlıca form buhardır. İyi tasarlanmış endüstriyel bir kazan, yakıt enerjisinin %85-90'ını ısı enerjisine (buhara) dönüştürebilir (Şekil 3.6). Halbuki yüksek basınçlı, yüksek sıcaklıkta ve tek amaçlı modern bir tesiste elektrik üretmek için buhar elde edildiğinde yakıtın yanma ısısının yalnızca %37-40'ı elektriğe dönüştürülür. Geri kalan %60-63'lük enerjinin büyük bir kısmı egzost buharı ile taşınır (Şekil 3.7). Bu miktar yakıt enerjisinin %45-48'ı civarındadır.



Şekil 3.6 Bir kazanda enerji akışı (Wilkinson, 1980)

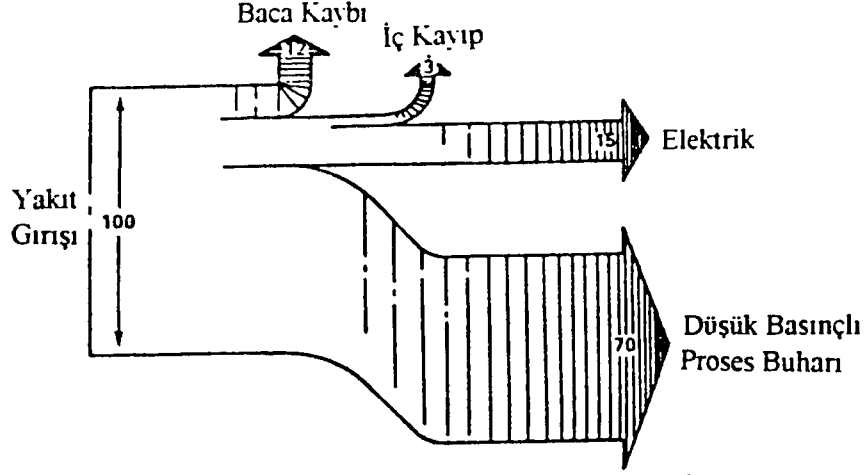


Şekil 3.7 Bir güç tesisi enerji akışı (Wilkinson, 1980)

Kojenerasyon sistemleri yakıt kullanımının toplam verimliliğini artırırken kazancın bir kısmı elektrik güç üretiminde zarara yol açar. Isıtma amaçlı kullanım için türbinden atılan buhar yüksek basınçlı olduğundan, elektrik güç çıkışı bununla orantılı olarak azalır. 3.5 bar basınçta buhar üreten bir kojenerasyon tesisinde giren yakıt enerjisinin %15'i elektriğe dönüşür. Hemen hemen %70 civarında enerji buhar olarak atılır (Şekil 3.8).

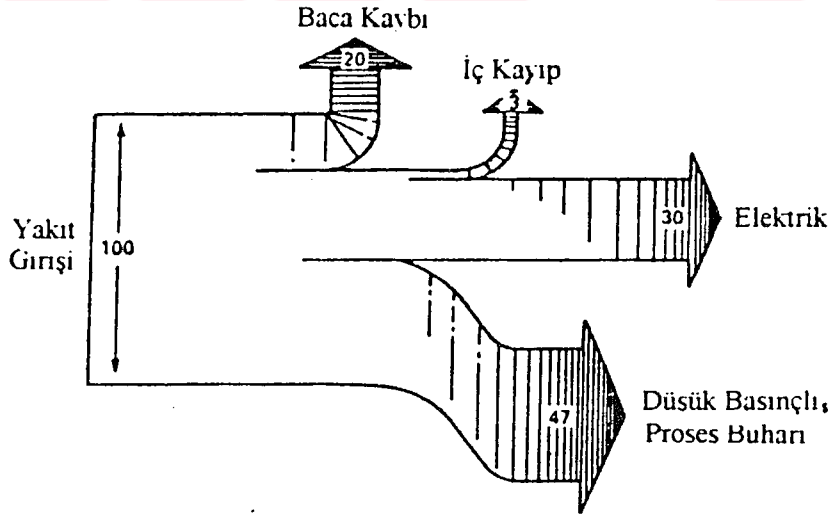
Dizel motorlara ya da gaz türbinlerine dayalı kojenerasyon sistemleri daha yüksek elektrik/ısı oranına sahiptirler. Bununla birlikte verilen bir sistem için oran, belli bir değere kadar sabit ve kuruluş ihtiyacını karşılamak zorundadır. Ya da enerji koruma potansiyelini kısıtlayacaktır. Eğer gerçek talep oranı, sistem tasarım oranından %1-2'den daha fazla değişirse genellikle fazla enerjinin atılması gerekir.

Kojenerasyon sistemleri, mekanik iş, aydınlatma, ısıtma ya da soğutma amaçlı kullanılan elektrik ve buharın değişken taleplerini karşılayabilir. Isıtma yükü kışın artar, elektrik ihtiyacı geceleri daha fazladır. Endüstriyel bir tesisin günün bir vardiyası boyunca pik buhar ve elektrik talebi olabilir. Sonuç olarak ısı ve elektrik talepleri aynı anda birbirleri ile örtüşmeyebilirler. Yararlı, yakıt korumalı bir kojenerasyon sistemi, yükleri eşlemek için orantılı olarak elektrik ve ısıyı üretebilmeli ya da ihtiyaçlara göre düzenleyebilmelidir. Proses buharı ya da elektrik üretimi gibi tek amaçlı sistemlerde yakıt girişi ve işletim karakteristikleri yalnız bir çıkış talebine göre kontrol edilir.



Şekil 3.8 Buhar türbin sistemli kojenerasyon sistemi enerji akışı (Wilkinson, 1980)

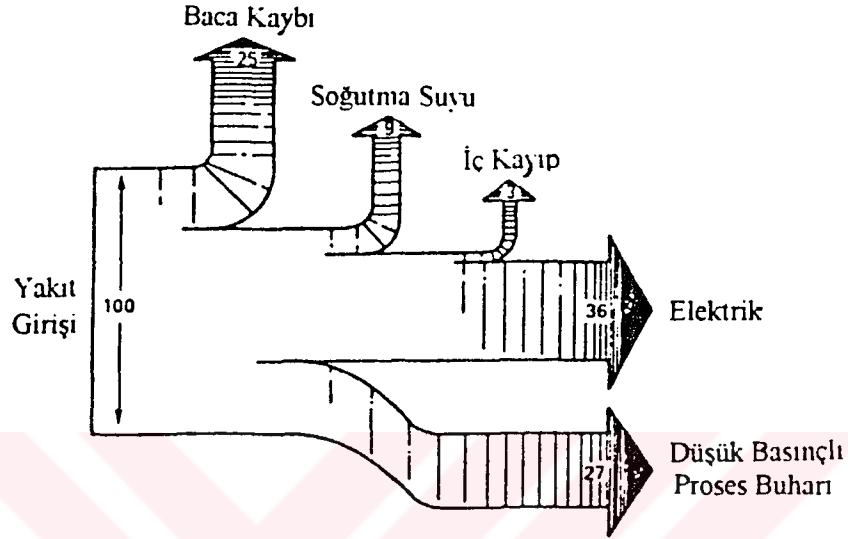
Farklı kojenerasyon modları, çeşitli elektrik/yüksek ve düşük sıcaklıklı ısı oranlarına sahiptir. Basit bir buhar türbin kojenerasyon sistemi her 75 kJ buhar için yalnızca 16 kJ elektrik üretebilir (Şekil 3.8). Gaz türbini ve egzost ısı kazanı kullanan bir kombine çevrim kojenerasyon sistemi ise 50 kJ buhar yüküyle 32 kJ elektrik üretir (Şekil 3.9). Egzost ısı kazanı kullanan dizel kojenerasyon sistemi ise her 29 kJ buhar yükü için 32 kJ elektrik üretir (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 Kombine çevrimli kojenerasyon sistemi enerji akışı (Wilkinson, 1980)

Bu elektrik/buhar oranları, ortalama bir endüstriyel kullanım için düşük olan 3.5 bar buhar basıncına göre belirlenmiştir. Daha yüksek basınç ihtiyacı olan çoğu buhar sistemi için

elektrik/buhar oranı, buhar türbini kojenerasyonunda daha düşecek, gaz türbini ya da dizel motor için artacaktır. Yüksek elektrik/buhar oranı için tasarlanmış bir sistemde, birim elektrik başına yakıt tüketimi artar ve enerji korunum potansiyeli azalır. Dolayısıyla bir kojenerasyon sisteminde tüm yakıt kullanım verimliliği sistem tipine olduğu kadar kullanıcının elektrik ve yüksek ya da düşük basınçlı buhar ihtiyacına da bağlıdır.



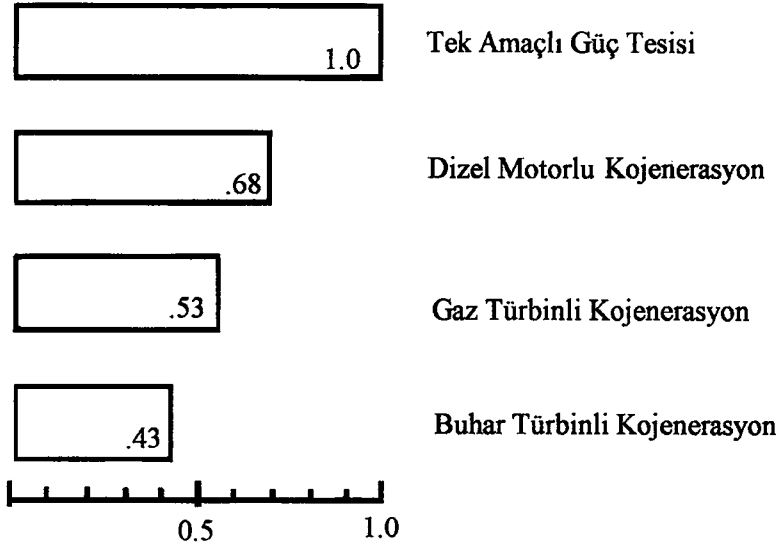
Şekil 3.10 Dizel sistemli kojenerasyon enerji akışı (Wilkinson, 1980)

Kojenerasyon son zamanlarda endüstriyel bir tesisin, basit bir kazan ve buhar türbini ile elektrik ve buhar ihtiyacını karşılayan favori bir sistem olmuştur. Çoğu tesis enerji talebinin %65-80'ini düşük basınçlı buhar olarak (1.8-11 bar) ve %20-35'ini de elektrik olarak kullanır.

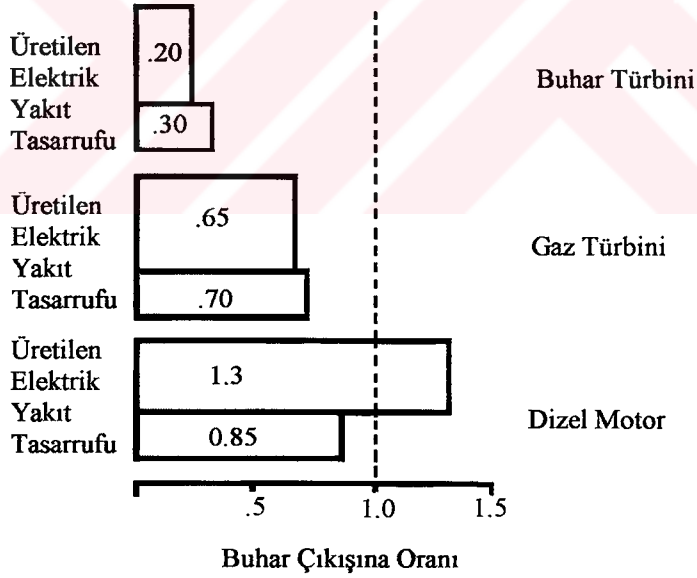
Genelde endüstriyel kojenerasyon sistemleri kuruluşun ısı ihtiyacını sağlamak ve elektriği sadece bir ürün olarak göz önünde bulundurarak tasarlanırlar. Bu elektrik satılabilir veya içeride kullanılabilir. Bazende tek amaçlı güç tesisinde klasik olarak üretilen elektriğin yerini alır. Kullanılan sisteme bağlı olarak üretilen elektrik, tek amaçlı güç üretim tesisinin verimine göre normal olarak ihtiyaç duyulan yakıtın yalnızca %40-70'ı ile üretilir (Şekil 3.11)

Böylece yakıt korunum potansiyeli ürün olarak üretilebilen elektriğin miktarına ve sıra ile kullanıcının buhar ya da sıcak su talebine ve çalıştırılan kojenerasyon moduna bağlıdır. Verilen bir ısı çıkış ihtiyacı için buhar türbin kojenerasyonu maksimum, çıkan buharın enerjisinin %30'una eşit oranda yakıt tasarrufu ile elektrik üretimi yapar. Gaz türbini ve dizel motor sistemlerinde tüm yakıt tasarrufu, buhar çıkış enerjisinin %70-85'ine eşittir

(Şekil 3.12). Bununla birlikte bu son iki üretim modu yüksek elektrik buhar oranıyla üretim yaptıkları için üretilen birim elektrik başına yakıt tasarrufu buhar türbinlerinden daha azdır.



Şekil 3.11 Birim elektrik başına enerji ihtiyacı (Wilkinson, 1980)



Şekil 3.12 Dönüşüm verimlilik aralığı (Wilkinson, 1980)

Kojenerasyon kullanımında tüm yakıt korunum potansiyeli, kullanıcının düşük basınçlı ısı ve elektrik ihtiyacının büyüklük ve karakteristiklerine bağlıdır. Bireysel bir kullanıcının işletme ve ekonomik ihtiyaçlarını karşılayan bir kojenerasyon sisteminin aynı zamanda maksimum yakıt tasarrufu sağlaması pek mümkün değildir. Sistem yakıt-ucuz elektrik sağlasa bile, düşük elektrik/yüksek buhar üretimi olan bir kojenerasyon sistemi yüksek elektrik/düşük buhar

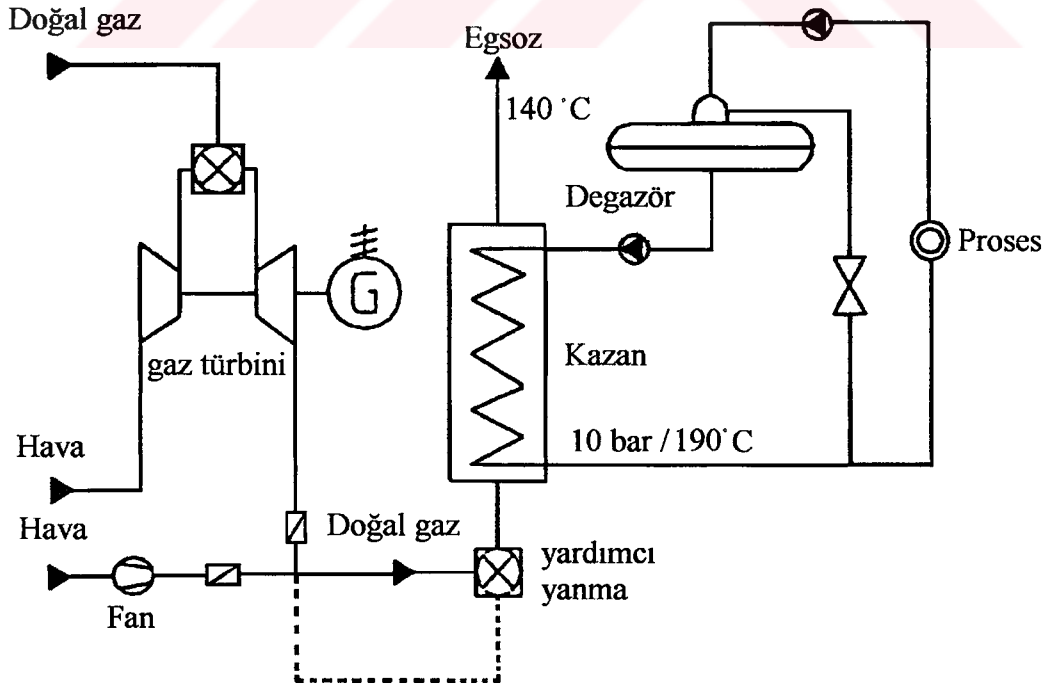
ihtiyacı olan bir kullanıcıya iyi bir hizmet veremez. Elektrik üretimi, çift yakıt kullanarak, endüstriyel proses buharı üretimini sağlıyor olsa da, üretilen elektrik veya buhar istenilen miktarda veya zamanda mevcut olmayabilir. Bu çelişki, kojenerasyondan elde edilmek istenen yakıt korunumunun elde edilmesine engel olan bir faktördür.

3.4 Kojenerasyon Teknikleri

Enerjinin kullanılacağı birimin özelliklerine göre, enerji gereksinimi çeşitli kojenerasyon tekniklerinden sağlanır.

3.4.1 Gaz türbinli kojenerasyon teknikleri

Gaz türbini son yıllarda geniş ölçekli ısı ve elektriğin birlikte üretildiği sistemler için kullanılan en yaygın ana makina olmuştur. Gaz türbini bir veya daha fazla yanma odasında yakılan yakıttan (12-35 bar) üretilen basınçlı yanma gazları ile bir rotorun ve buna bağlı şaftın dönmesiyle mekanik güç üretir. Bu şekilde tahrik edilen bir jeneratörden elektrik enerjisi elde edilir. Aynı veya başka bir güç türbini de yakma havasını sıkıştırmak için kullanılır (Schoredter, 1993). Şekil 3.13'de gaz türbinli basit bir kojenerasyon tesisinin prensip şeması görülmektedir.



Şekil 3.13 Gaz türbinli basit bir kojenerasyon tesisinin prensip şeması

Yanma gazları güç türbinine 900-1200 °C sıcaklıkta girerler ve 450-550 °C sıcaklıkta egzost edilirler. Egzost gazlarının sahip olduğu bu enerji çevresi için bir ısı enerjisi kaynağıdır. Kullanılır ısı/güç oranı aralığı gaz türbininin karakteristiklerine bağlı olarak 1.5/1 ile 3/1 arasındadır. Gaz türbini yakıtı yakmak için gerekli olan hava miktarından daha fazlasını içine alır. Bu yüzden egzost gazları fazla miktarda oksijen içerirler. Bu fazla oksijen ile ekstra yakıt yakılabilir. Böylece ilave yanma, toplam ısı/güç oranını 10/1 kadar yüksek değerlere çıkarabilir. Gaz türbinleri yüksek güvenilirlikte ve minimum bakım ihtiyacı ile çalışırlar. Dünyada gaz türbinleri 500 kWe'den 200 MW'a kadar geniş bir güç aralığında üretilirler. Ancak 1 MWe'den küçük türbinler, düşük verimlilikte çalışırlar ve birim kWe başına yüksek yatırım maliyeti gerektirirler. Yıllık çalışma saatinin %96'sını çalışma garantisi ile üretilirler.

Gaz türbinlerinin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Isı/güç oranında işletim esnekliği potansiyeli
- Uzun süreli kesintisiz çalışma güvenilirliği
- Yüksek kalitede ısı sağlaması
- Elektrik çıkışı frekans kontrolünü yüksek hızlarda da sabit kılma
- Yüksek güç/ağırlık oranı
- Soğutma suyuna ihtiyaç duymaması

Dezavantajları ise:

- Çıkış aralığı içindeki sınırlı ünite hacimleri
- Motorlara göre daha düşük mekanik birim
- Eğer gaz yanmalı ise yüksek basınçlara ihtiyaç duyması
- Yüksek gürültü seviyeleri
- Düşük yüklerde verim düşüklüğü

Gaz türbini sistemi buhar türbini sisteminden daha fazla yakıtı ihtiyaç duyar. Ancak bu sistem buhar türbin sisteminden birim proses buharı başına daha fazla elektrik üretir. Kullanılan bazı gaz türbinleri çift yakıtlıdır. Hem doğal gaz hem de petrol türevlerini kullanabilirler.

Kombine çevrim sistemi ise gaz türbin sisteminin bir türüdür. Gaz türbininden çıkan atık ısı, hemen proses ısısı veya buharına dönüştürülmekten ziyade elektrik üretmek için kullanılır. Kombine çevrim sisteminin elektrik çıkışı 1 milyon kJ buhar başına 360 kW h'tir.

3.4.2 Motorlu kojenerasyon teknikleri

Kombine ısı güç sistemlerinde kullanılan gaz motorları içten yanmalı motorlardır. Kullanılabilir ısı/güç oranı temel olarak 0.5/1 ile 2/1 arasındadır. Egzost gazı geniş ölçüde fazla hava içerir. İlave yanma mümkündür ve ısı/güç oranını 5/1'e kadar çıkarabilir (Schroedter, 1993). Şekil 3.14'de gaz motorlu kojenerasyon sistemi prensip şeması görülmektedir.

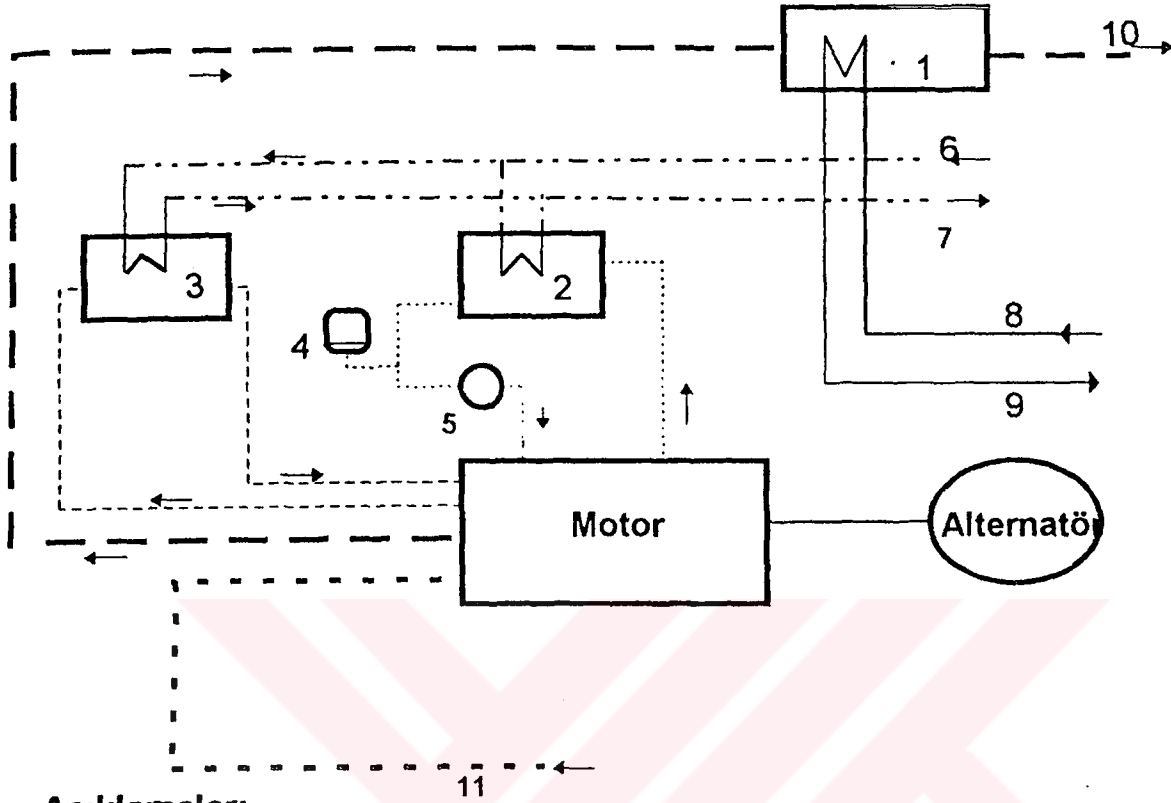
Motorlar ve yağlama yağları soğutulmalıdır. Bu yüzden kullanılsın veya kullanılsın bu suyun ısınmasından dolayı 120 °C'ye kadar sıcak su formunda bir ısı kaynağı oluşur. Egzost gazlarının sıcaklığı yaklaşık olarak 400 °C'ye kadar çıkabilir. Soğutma ve egzost ısıları motor tarafından üretilen toplam ısı oranına eşittir. Ateşleme sistemlerine göre sınıflandırılan iki tip motor vardır. Bunlar basınçlı ve kıvılcım ateşlemeli motorlardır.

3.4.2.1 Dizel motorlar

Genellikle dört stroklu, turbo şarjlı ve ara soğutmalı direkt enjeksiyonlu makinalardır. Dizel motorlar, gaz yağı, ağır artık fuel oil ve doğal gaz yakarlar. Çift yakıtlı modellerinde gaz yakıtın küçük bir miktarı ateşleme için enjekte edilir. Şaft verimleri %35-45 arasındadır. Çıkış aralıkları 15 MWe kadardır. Soğutma sistemleri kıvılcımla ateşlemeli sistemlere göre daha karışıktır ve sıcaklıklar maksimum 85°C kadardır. Egzost tava seviyeleri yüksektir ve ilave yanma mümkündür. Bu motorlar 1500 d/d'ye kadar devirlerde çalışırlar. Genelde yaklaşık 2MWe'ye kadar motorlar orjinal otomotiv dizellerinin türevleridir. Gaz yağı ile işletilir ve hız aralıklarının üst seviyelerinde çalışırlar. 500 kWe'den yukarıdaki deniz dizel motorları ve çift yakıtlı veya artık yakıt kullanan makinalar orta ve düşük hız seviyelerinde çalışırlar.

3.4.2.2 Kıvılcım ateşlemeli motorlar

Dizel motorların bir türevidir. Ana avantajları motor soğutma suyunun 120°C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda çalışmasıdır. Şaft verimi %35'den düşüktür. Çıkış aralıkları maksimum 2MWe ile sınırlıdır. Küçük ve basit tesislerde kullanılırlar. Soğutma ve egzost ısıları seri olarak bir atık ısı kazanında geri kazanılır ve düşük basınçlı buhar ya da orta/düşük sıcaklıkta sıcak su elde edilir. Bu motorlar gaz yakıt yaktıkları için oldukça popülerdir. Biyogazlar ve benzer olarak geri kazanılmış gazlar da kullanılabilir. Ancak düşük kalorifik değerlerinden dolayı verilen motor çıkış değerlerinde düşüşler olur.



Açıklamalar:

- — — — — Egzost Gazı Hattı
 - - - - - Gaz Hattı
 - Kızgın Su veya buhar Hattı
 - - - - - Isıtma Suyu Hattı
 - Silindir bloğu soğutma suyu devresi
 - - - - - Yağlama yağı devresi
- | | |
|----|---|
| 1 | Egzost gazı eşanjörü |
| 2 | Silindir bloğu soğutma suyu devresi plaka tipi (su/su) eşanjörü |
| 3 | Yağlama devresi soğutması ısı değiştiricisi |
| 4 | Genleşme tankı |
| 5 | Soğutma suyu pompası |
| 6 | Isıtma suyu girişi |
| 7 | Isıtma suyu çıkışı |
| 8 | Kızgın su veya buhar girişi |
| 9 | Kızgın su veya buhar çıkışı |
| 10 | Egzos gazı çıkışı |
| 11 | Gaz girişi |

Şekil 3.14 Gaz motorlu kojenerasyon sistemi prensip şeması

Motorların avantajları :

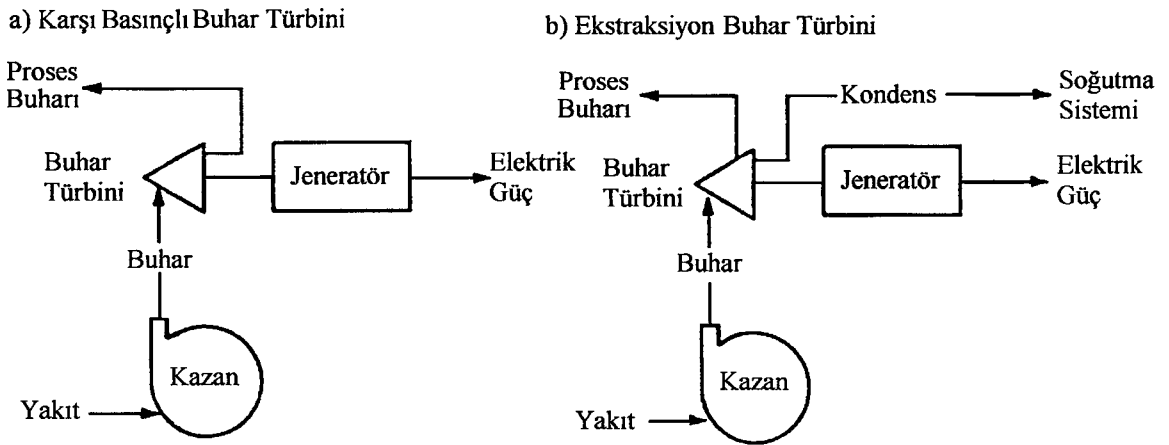
- Geniş yük aralığında bile yüksek güç verimliliği
- Geniş ünite çıkış aralığı

Dezavantajları :

- Geri kazanılan ısı değerlendirilmese dahi soğutulma zorunluluğu
- Düşük güç/ağırlık oranı ve dengeleme kuvvetlerinin dayanıklı tesislere ihtiyaç göstermesi

3.4.3 Buhar türbinli kojenerasyon teknikleri

Buhar türbini sistemleri genel olarak bir kazan ve bir karşı basınçlı buhar türbininden oluşmuştur. Bu tip bir sistem şematik olarak Şekil 3.15’de verilmiştir. Bu sistemde 45-110 bar basınçlarda 400-500 °C sıcaklıklar arasında kazanda buhar üretmek için fosil yakıtlar veya atık yakıtlar yakılır. Bu yüksek basınçlı buhar bir rotoru döndürmek üzere buhar türbinine gönderilir. Türbin bir jeneratörü tahrik eder ve elektrik üretilir. Türbini terk eden düşük sıcaklık ve düşük basınçtaki buhar bir proses uygulamasında kullanılabilir. Karşı basınçlı türbinin alternatifi olarak aynı tarzda çalışan, ancak endüstriyel bir proseste kullanmak için orta kademelerde farklı basınç ve sıcaklıklarda buhar çekilen ekstraksiyon buhar türbini de kullanılabilir. Türbinin son kademesinden çıkan buhar bir endüstriyel prosese ya da yoğuşturularak kazana geri gönderilir.



Şekil 3.15 Buhar türbinli kojenerasyon sistemi prensip şeması

Karşı basınçlı türbinler genelde, sadece proses buharı üreten klasik buhar türbinlerinden ve yalnız elektrik üreten güç tesislerinden %10-30 daha verimlidirler. Buhar türbinleri, gaz türbinleri ya da dizel motorlarda üretilen birim güç başına daha az yakıtı ihtiyaç duyarlar. Ancak birim proses buharı başına diğer iki sistem kadar elektrik üretemezler. Bir buhar türbini 1 milyon kJ proses buharı başına yaklaşık 41 kWh elektrik üretirken, gaz türbini 165 kWh elektrik üretir.

Buhar türbinleri esas itibariyle gaz türbinlerine benzerdir. Fakat türbini çalıştırmak için gerekli enerji, sıcak gazlar yerine kızgın buhardan elde edilir. Buhar basıncına bağlı olarak üretilen güç, türbin içinde azaltılabilir. En basit düzenleme karşı basınçlı türbindir. Tüm buhar akışı makinaden geçer ve ihtiyaç duyulan basınçta türbinden egzost edilir. Birden fazla kademede ısı gereken yerlerde, yüksek kademede kullanmak için türbin boyunca uygun basınçta ekstraksiyon buharı çekilir. Daha düşük basınçlı prosesler için egzost edilmeden önce ilave güç üretimi için buhar akışa devam eder. Çıkışa bir kondenser konularak vakuma doğru genişletilen buhar ile güç çıkışı artırılabilir. Bu şekilde düşük seviyeli ısı açığa çıkar ki genel kural olarak bu bir kombine ısı ve elektrik üretim sistemi değildir.

Buhar türbinleri sadece yüksek basınç ve sıcaklıkta buhar girişi ve nisbeten düşük mertebede ısı çıkışından önemli miktarda güç üretirler. Tesis buhar kazanı ihtiyacından dolayı pahalıdır. Bu yüzden buhar türbin uygulamaları, gaz türbinlerinden ve gaz motorlarından daha sınırlıdır. Çok ucuz bir yakıtın buhara ilk dönüşümünden sonra kullanımı daha sık bir uygulamadır. Türbin giriş basıncı ne kadar yüksekse üretilen güç de o kadar yüksek olur. Ancak yüksek buhar basıncı, yüksek kazan yatırımı ve işletme maliyeti getirir. Tesisin büyüklüğüne ve buhar ihtiyacına göre bir optimizasyon yapılır. Endüstride elektrik kullanımının artması, kullanılabilir ısı/güç oranının 3/1 den daha az olması mümkün olmayan belki 10/1 ya da daha fazla olan buhar türbinlerinin kullanımını sınırlamıştır.

3.5 Kojenerasyon Sistemi Seçimi

Kojenerasyon sistemleri, sistemin ekonomikliği, teknik açıdan toplam sistem verimliliği ve kullanıcının gereksinimleri dikkate alınarak, uygun bir şekilde seçilmelidir. Kojenerasyon oldukça büyük bir yatırım olduğu için sistemin fizibilitesinin çok ayrıntılı olarak yapılması gerekir. Bu fizibilite sonuçları ucuzluk ve kaliteden dahi önce gelebilmektedir. Hatta bu sistemlerin kurulması kararı verilmeden önce danışman veya müşavir kişi ya da kuruluşlarla

çalışılması yararlı olur. Uygun sistem seçimi aşağıdaki parametrelere göre yapılır (Koçak vd, 1998).

3.5.1 Yakıt

Çeşitli nedenlerden dolayı, kojenerasyon sisteminde kullanılması düşünülen yakıt türü veya türlerine göre sistem seçilir. Bazı uygulamalarda birden fazla örneğin iki yakıtlı veya üç yakıtlı sistemler kullanılmaktadır. Bazı tesislerde ise kojenerasyon sistemi doğrudan yakıttan yola çıkılarak seçilir. Çöplük gazı ve arıtma gazı ile çalışan sistemler buna örnek olarak verilebilir.

Türkiye için özellikle doğal gaz kullanılan yerlerde sistem çok ekonomik olmakta, ilk yatırım tesis giderini geri ödeme süresi iki yıl ya da daha az olabilmektedir.

Kullanılmak istenen yakıt türü sayısı arttıkça seçilen sistem gaz türbinine yönelmektedir. Gaz türbinlerinde ise farklı tür yakıt yakabilme özelliği mevcuttur.

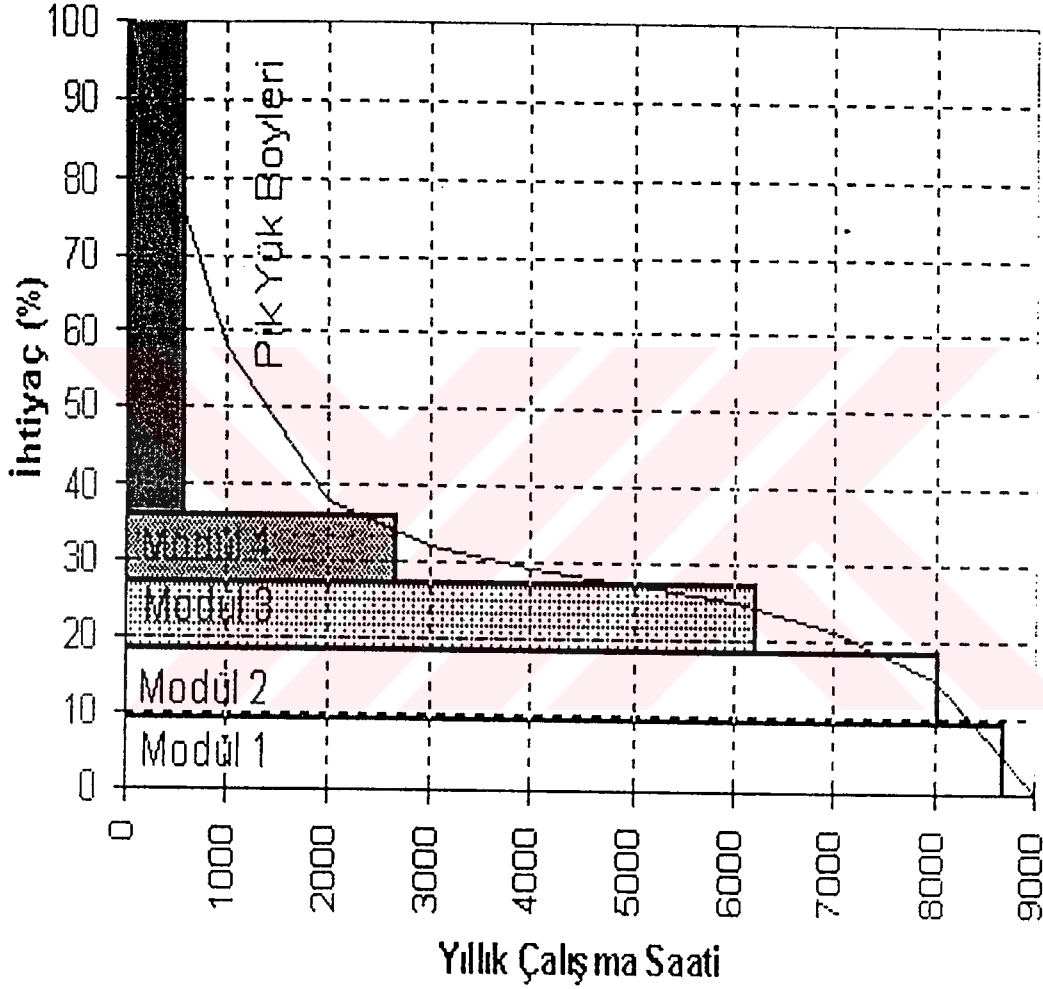
3.5.2 Elektrik ısı oranı

Kojenerasyon uygulanacak sistemin termik ve mekanik güç ihtiyaçları seçim parametrelerinin önemlilerindedir. Özellikle yeni kurulacak tesislerde bu ihtiyaçlar ve birbirleriyle oranları sistem seçimi için zorunlu ve temel faktördür. Gaz türbini ile yapılan kojenerasyon sistemlerinde, elektrik ısı oranları 0.40-0.50 civarlarındadır. Yani toplam enerji çıkışının 1/3'ü elektrik enerjisi 2/3'ü ısı enerjisidir. Gaz motorları ile yapılan uygulamalarda ise elektrik ısı oranları 0.75-0.80 civarındadır. Yani toplam enerji çıkışının yaklaşık %40'ı elektrik gücü olarak elde edilirken %50'si de termik güç olarak geri kazanılabilir. Kojenerasyon sistemlerinin bu temel ayrımından dolayı, tüketim bölgesinin özelliğine göre (hangi oranda ısı ve elektrik ihtiyacı bulunduğu) seçim yapılır .

3.5.3 Yük eğrisi

Tüketim bölgesinin ısı ve elektriki yük eğrilerine göre seçim yapılır. Eğer yük eğrisi; günün, haftanın, yılın çeşitli zamanlarında çok dengesiz oluyorsa; bu yük eğrisini, birden fazla ağırlığa bölerek, tüketimi birden fazla modül ile karşılarız. Böyle bir yük eğrisi, Şekil 3.10'da görülmektedir. Örnek olarak, gün içinde 400 kW, gece ise 200 kW elektrik enerjisi ihtiyacı

olan bir hastahane elektrik tüketimini karşılamak üzere, 200 kW'lık iki gaz motoru kullanmak çalışma rejiminin daha verimli olmasını sağlayacaktır. Şekil 3.16 'de tipik bir yük eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.16 Tipik bir yıllık yük eğrisi

3.5.4 Start sayısı

Gaz motorlarının daha kolay devreye alınabilmesinden dolayı senelik start sayıları fazla olan işletmeler için gaz motoru kullanımı kaçınılmaz hale gelir.

3.5.5 Ortam sıcaklığı

Gaz türbinlerinin çıkış güçleri ve ısı oranları, ortam sıcaklığına fazla duyarlılık gösterdiği için; gaz motorları, ortam sıcaklığına çok fazla duyarlı olmadığından, bazı uygulamalarda gaz motoru kullanımı zorunlu hale gelir.

3.5.6 Toplam sistem kapasitesi

Kojenerasyon sisteminde ihtiyaç duyulan güçler büyüdükçe, seçilen sistem, gaz türbinine doğru yönelmektedir. Genellikle uygulamada 2.5-3 MW seviyesinin altında gaz motorları, üzerinde ise gaz türbinleri kullanılmaktadır.

3.5.7 Elektrik kalitesi

Elektrikteki frekans ve gerilim hassasiyetinin yüksek olduğu işletmelerde bazen sistemin karlılığına ya da şebeke elektriğinin sürekliliğine bakmaksızın, kojenerasyon yatırımı zorunlu hale gelir. Özellikle hassas elektronik cihazların bulunduğu tesislerde frekans ve gerilim değerlerinin toleransı çok azdır. Tesiste bu türden sorunlar varsa kojenerasyon kaçınılmaz olmakta, tolerans miktarı azaldıkça ise sistem seçimi gaz motorundan gaz türbinine doğru kaymaktadır.

3.6 Türkiye’de Kojenerasyon Sistemleri

Türkiye’de kojenerasyon sistemleri, kağıt fabrikaları, şeker fabrikaları, demir-çelik fabrikaları ve rafineriler olmak üzere KİT’lerde çok eski yıllardan beri uygulanmış ve bu amaçla kurulan 29 tesisin toplam kapasitesi 1050 MW değerine ulaşmıştır (Ağış, 1998). Bugün bu tesislerin bir bölümü ekonomik ömrünü doldurduğu için devre dışı kalmıştır, bir bölümü ise düşük kapasiteyle çalışmaktadır.

Türkiye’de kojenerasyonun gelişmesindeki önemli aşama, 1984 yılında 3096 sayılı yasanın çıkarılması ve bu yasaya dayanarak 4 Eylül 1985 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın otoprodüktörlük için uygulama esaslarını belirleyen 85/9799 sayılı yönetmeliğin yayınlanması ile başlamıştır.

1992 yılında kurulan ilk otoprodüktör kojenerasyon tesisinden sonra getirilen yatırım teşviklerinin de etkisiyle otoprodüktör tesis sayısı hızla artmış ve Mayıs 1999 sonunda 63'e ulaşmıştır. Mayıs 1999 sonunda tüm otoprodüktör tesislerinin toplam kurulu gücü 1557 MW, yıllık elektrik üretimleri ise yaklaşık 10.7 milyar kWh değerine ulaşmıştır. Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin yaklaşık 110 milyar kWh olduğu gözönüne alınırsa 1998 yılında elektrik üretiminin %10 kadarının otoprodüktör tesislerden sağlandığı görülmüştür. Bu değer önceki iki yılda sırasıyla %6 ve %8 olmuştur. Şu anda yapımı süren ve toplam kapasitesi 1122 MW olan 42 adet otoprodüktör tesis vardır. Bu tesislerde yılda yaklaşık 8,5 milyar kWh elektrik üretilmesi beklenmektedir. Ayrıca 43 adet tesis için yapılan başvurular Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nda incelenmektedir. Bunlarında devreye girmesiyle 2005 yılında otoprodüktörlerin Türkiye genel elektrik üretimi içindeki payı %18'lere yükselebilecektir (Derbentli, 1999).



4. ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Soğutma teknolojisi günümüzde oldukça gelişmiştir. Enerji maliyetlerinin artması ile birlikte en az enerji ile en çok soğutma kapasitesini sağlayan cihazlar üretmek oldukça önem kazanmıştır. Buna en iyi örnek absorpsiyonlu soğutma sistemleridir.

1859 yılında Ferdinand Carre tarafından absorpsiyonlu soğutma makinalarının patenti alınmıştır. 1970 yılında absorpsiyonlu makinalar Amerika'ya gelmiş ve 1975-1983 yılları arasında absorpsiyonlu cihaz satış ve kullanımı oldukça artmıştır.

Absorpsiyonlu cihaz kullanımı ülkemizde de kojenerasyon sistemlerinin kullanılması ile birlikte artmıştır. Kojenerasyon sistemlerinin oluşturduğu atık ısılar vasıtası ile kullanılan absorpsiyonlu sistemler ile yapılan soğutma maliyeti oldukça düşüktür. Burada bahsedilen atık ısılar motor soğutma suları, buhar türbinlerinden alınan buhar, proseste kullanılan makinaların soğutma suları ve baca gazlarının kullanımı ile ısı değiştiriciler aracılığı ile elde edilen sıcak sulardır (Cüneyit, 1997)

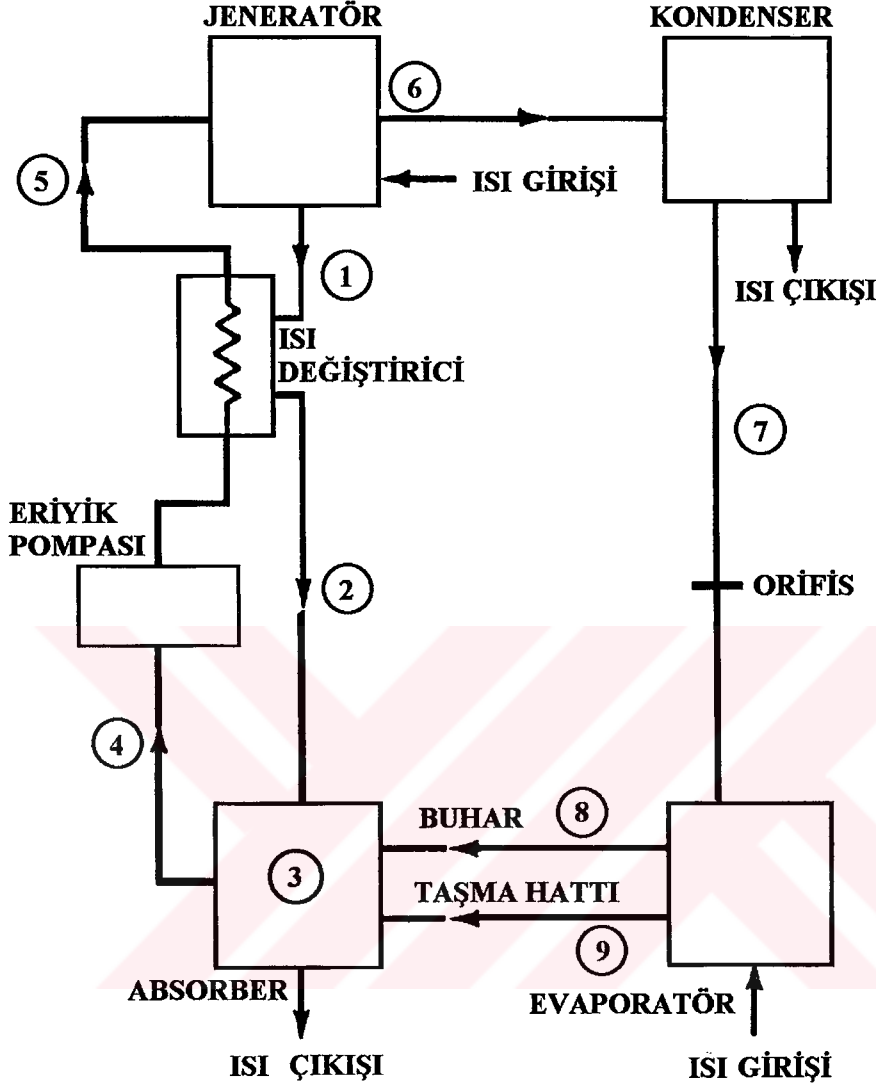
4.1 Absorpsiyon Prosesi

Bazı madde çiftlerinin birbirlerine karşı kimyasal ilgisi vardır. Temas ettiklerinde biri diğeri tarafından absorbe edilir. Absorbe eden maddeye absorban denir. Absorbanlar katı, sıvı veya gaz olabilir. Absorpsiyonlu soğutmada absorban sıvı, diğeri madde (soğutucu akışkan) ise absorbe edildiğinde gaz fazındadır. Absorpsiyonlu sistemlerde iki madde çifti kullanılır. Bunlardan biri lityumbromür-su çifti, lityumbromür absorban, su ise soğutucudur. Diğeri ise su-amonyak çifti, su absorban amonyak soğutucudur.

İki maddenin karışımı soğutma sistemlerinde normal olarak sıvı fazlıdır. Karışımdaki absorban oranı yüksek soğutucu oranı düşük ise konsantre veya kuvvetli eriyik, absorban oranı düşük soğutucu oranı yüksek ise zayıf eriyik olarak adlandırılır. Konsantrasyon genellikle absorban ağırlık yüzdesi ile ifade edilir (Pita,1984).

4.2 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Şekil 4.1’de absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.1 Absorpsiyonlu soğutma çevrimi (ASHRAE,1981)

4.2.1 Absorber ve evaporatör

Soğutucu akışkanın buharlaşma sıcaklığı doyma basıncına bağlıdır. Buharlaşma sıcaklığı evaporatör basıncına göre değişir. Soğutma uygulamalarında ihtiyaç duyulan sıcaklık değerlerine inmek için basınç yeterince düşük olmalıdır.

Buhar sıkıştırılmalı sistemlerde evaporatördeki düşük basınç kompresörün hareketi ile sağlanır. Soğutucu akışkan ne kadar hızlı buharlaşırsa kompresör de buharı aynı hızla alır. Böylece basıncın artmasını da önler. Soğutucu akışkan kompresörün ve diğer bileşenlerin

performansına uygun olarak seçilir. Absorpsiyonlu sistemde ise evaporatörde soğutucu akışkan vardır. Absorber evaporatöre bitişiktir ve kuvvetli eriyik içerir. İki kap buharın aralarında rahatça akabilmesi için bağlantılıdır. Kapların havası alınmıştır ve basınç oldukça düşüktür. Evaporatör içerisindeki soğutucu akışkan gaz fazına geçer. Buharlaşma gizli ısısının etkisi ile buharlaşmamış olan soğutucu akışkan soğur. Böylece soğutma gerçekleşmiş olur. Oluşan buhar iki kaptaki boşlukları doldurur. Daha çok soğutucu akışkan buharlaştıkça evaporatördeki basınç da gittikçe artacaktır. Dolayısı ile elde edilmiş olan soğutma etkisi de kaybolacaktır. Ancak bu durum absorbanın hareketi ile önlenir.

Kapları dolduran buhar absorberde kuvvetli absorban eriyiğın yüzeyi ile temas edecek ve absorbe olacaktır. Bu da ortamdaki basıncı düşürür. Buharlaşan soğutucu akışkan yüzeyinden absorbere doğru buhar akışını artıran bir basınç farkı oluşur.

Absorber soğutucu akışkan buharını, oluştuğunda evaporatörde düşük basınç ve sıcaklık oluşturarak uzaklaştırır. Absorberin bu hareketi kompresör tarafından yaratılan emme hareketinin yerini tutar.

Evaporatörde basınç çok düşük olduğundan bileşenlerin oldukça sızdırmaz olması gerekir. Çünkü soğutucu akışkanın borular ve serpantinler etrafında haricen dolaşması istenmez. Dolayısı ile soğutucu akışkan evaporatördeki boru demeti içerisinde sirküle eden suyu soğutmak için kullanılır. Soğuk su ise soğutma yükünün olduğu ortamda sirküle eder. Soğutucu akışkan sürekli olarak evaporatördeki borular üzerine soğutucu pompası tarafından nozullarla püskürtülür.

Pompa-sprey nozul düzenlemesi kuvvetli absorber eriyiğının absorber içine spreylemek için de kullanılır. Bu eriyik ile su buharı arasındaki temas yüzeyini ve absorpsiyon prosesinin etkinliğini artırmayı sağlar (Pita,1984).

4.2.2 Jeneratör ve kondenser

Sistemin sürekli olarak çalışabilmesi için soğutucu akışkanın tekrar kullanılması gerekir. Bunun için de jeneratör kullanılır. Zayıf eriyik absorberden jeneratöre pompalanır. Eriyiğın ısı verilir ve sonuçta soğutucu akışkanın kaynatarak ayrılması sağlanır. Daha sonra oluşan kuvvetli eriyik absorbere döner ve soğutucu akışkan buharı ortamına spreyletir. Isı kaynağı

çoğunlukla buhar veya serpantinlerde sirküle eden sıcak sudur. Sıcak yanma gazları da kullanılabilir. Ancak bunun için farklı cihazlar kullanmak gerekir.

Jeneratör kondenser ile bağlantılıdır. Oluşan soğutucu akışkan buharı jeneratör ve kondenseri doldurur. Kondenserdeki boru demetinde soğuk su dolaşır. Su sıcaklığı akışkan buharının kondenser basıncındaki yoğuşma sıcaklığından düşüktür. Böylece soğutucu akışkan buharı yoğuşma gizli ısını bırakır ve sıvı hale gelerek kondenser tabanında birikir (Pita,1984).

4.3 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Kullanılan madde çiftlerine göre iki tip absorpsiyonlu soğutma cihazı vardır.

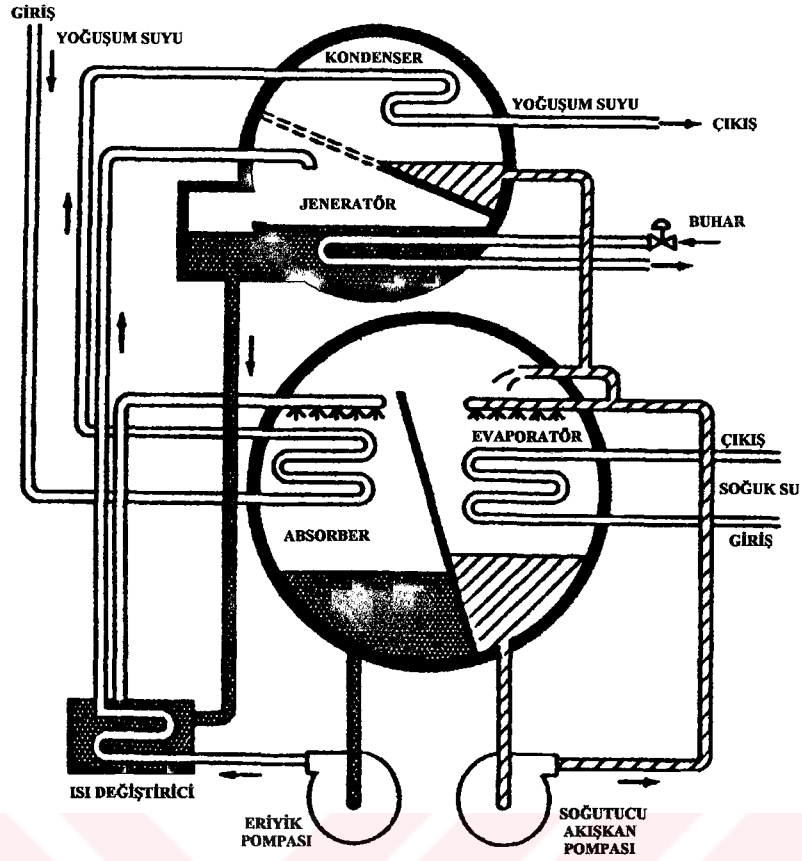
4.3.1 Lityumbromür-su cihazları

Lityumbromür-su cihazları genellikle klima uygulamaları için kullanılırlar. Büyük ve küçük tonajlı olmak üzere iki bölümde incelenebilirler (ASHRAE,1983).

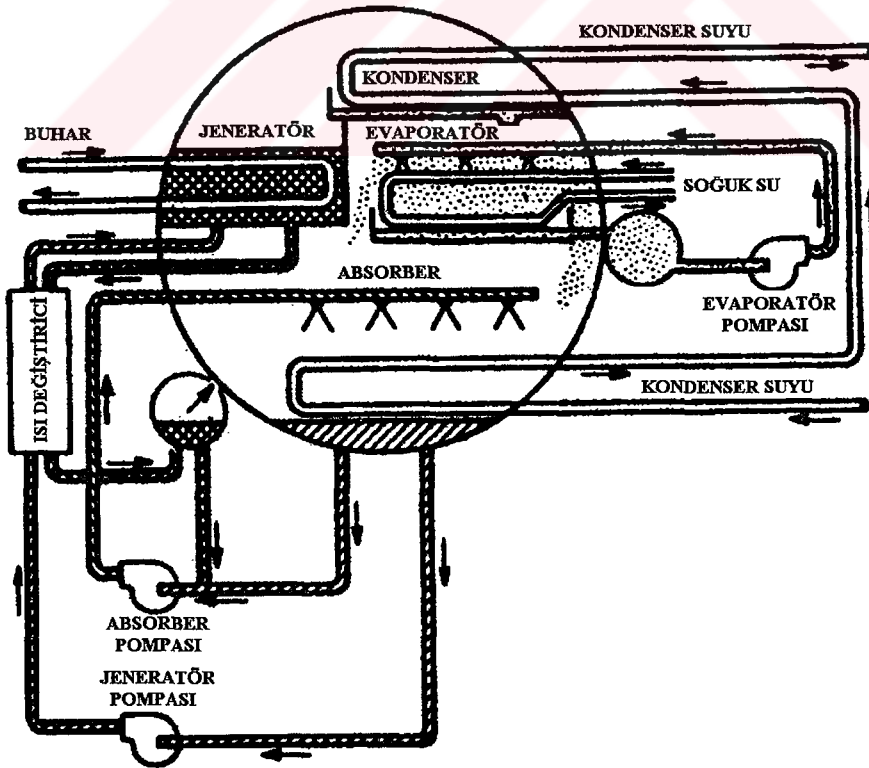
4.3.1.1 Büyük tonajlı lityumbromür-su cihazları

Çoğunlukla 50-1500 ton (176-5280 kW) kapasite aralığında indirekt ateşlemeli makinalardır. Bu tür bir makinanın şematik diyagramı Şekil 4.2 'de görülmektedir. Şekil 4.3'de ise tek gövdeli benzer bir makina gösterilmiştir.

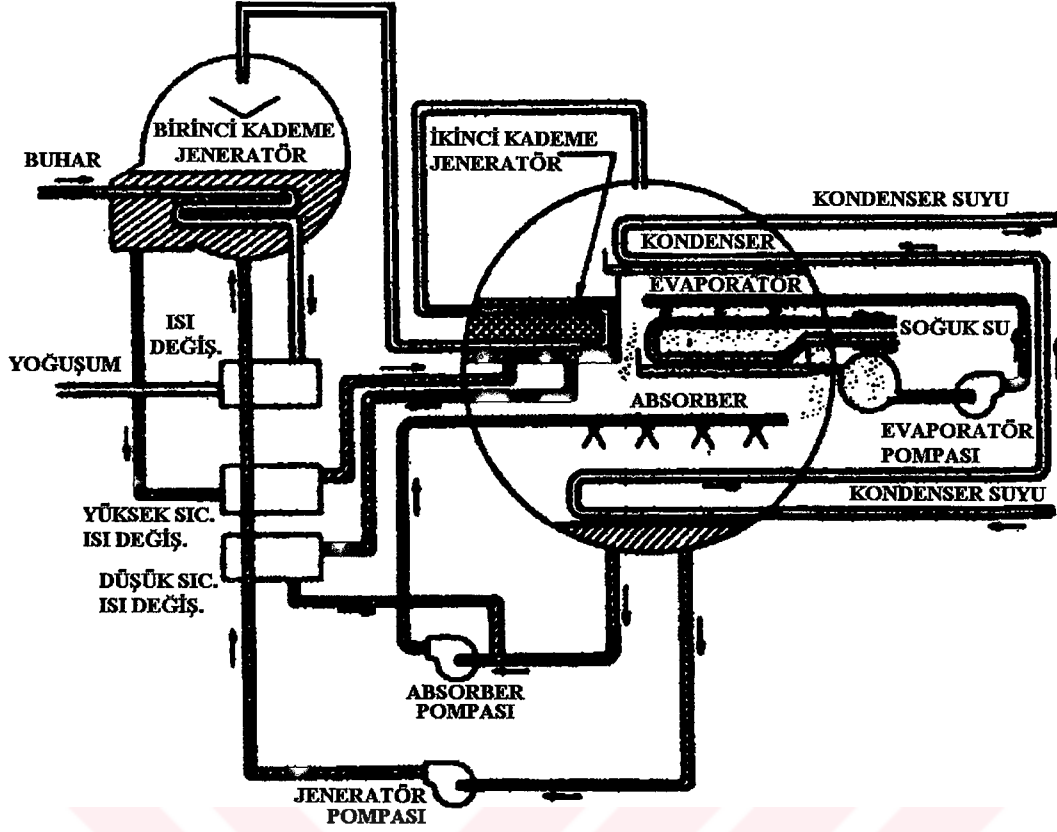
Absorpsiyonlu makinalar iki kademeli jeneratörlü olarak da yapılabilir. Bu tür makinalar çift etkili olarak da adlandırılırlar. Şekil 4.4 'de ise iki kademeli jeneratörle tasarlanmış tek gövdeli bir makina görülmektedir. İlk jeneratör soğutucu akışkanı zayıf absorbandan ayıran ısıyı alır. Bu sıcak soğutucu akışkan buharı ikinci jeneratöre gider. Burada ilk jeneratörden gelen konsantrasyonu orta seviyede olan ve bir ısı değiştiriciden geçmiş olan absorbandan daha fazla soğutucu akışkan buharlaşmasını sağlar. Jeneratörden başka, tek kademeli lityumbromür-su ünitesinin tüm bileşenleri iki kademeli ünite ile aynıdır. Çift etkili ünite buhar hızlarının tek kademeli makinadakinin üçte ikisi kadar olmasından dolayı yüksek performanslıdır. Isı kaynağı sıcaklığı tek kademeli ünitelerde istenenin 50°C kadar üstündedir.



Şekil 4.2 İki gövdeli lityumbromür-su çilleri (ASHRAE,1983)



Şekil 4.3 Tek gövdeli lityumbromür-su çilleri (ASHRAE,1983)



Şekil 4.4 İki kademeli jeneratörle tasarlanmış tek gövdeli lityumbromür-su çilleri
(ASHRAE,1983)

Cihazı Oluşturan Parçalar

Jeneratörler absorbanın altında kalan boru demetleridir. Buhar veya sıcak sıvılarla ısıtılırlar. Kondenserler jeneratörün üst tarafında buhar bölgesine yerleştirilmiş boru demetleridir. Kondensere gelen soğutma suyu önce absorberden geçer. Absorberler ise kuvvetli absorbanın spreylendiği boru demetleridir. Soğutucu akışkanın buharı ısısını ortamdaki geçen soğutma suyuna verir ve absorbanın içine yoğuşur. Evaporatörler (soğutucular) soğutucu suyun üzerine spreylenecek buharlaştığı boru demetleridir. Soğutulacak su boruların içinden geçer. Eriyik ısı değiştiricileri tamamen çelikten boru tipi konstrüksiyonlardır. Eriyik ve evaporatöre pompaları genellikle elektrikle tahrik edilen hermetik tasarımlı santrifüj pompalardır. Akışkan çevrimini veya sabit soğutma çevrimini sağlamak için kullanılır. Sistem yoğuşmayan gazları uzaklaştırmak için kullanılan purjörler içerir. Az miktarda bile bulursa, yoğuşmayan gazlar absorberdeki toplam basıncı, evaporatör basıncını önemli ölçüde değiştirmeye yetecek kadar artırır. Çok küçük basınç artışları soğutucu akışkanın buharlaşma sıcaklığında önemli artışlara neden olur. Absorpsiyonlu makinalarda mekanik genişleme valfi kullanılmaz. Sıvı akışkanın evaporatöre akışı bir orifis ile kontrol edilir.

Kapasite kontrolü

Tüm lityumbromür-su çevrimli absorpsiyon makinaları değişken yüklerle çalışırlar ve absorban eriyiğin konsantrasyonu değiştirilerek soğuk su sıcaklık kontrolü sağlanır. Verilen herhangi bir yükte, soğuk su sıcaklığı soğutucu akışkan ve soğuk su arasındaki sıcaklık farkı ile ayarlanır. Yük değişimleri soğuk su sıcaklığındaki değişimlerden anlaşılır. Örneğin yükteki azalma sonucu evaporatörde daha az sıcaklık farkına ve daha düşük eriyik debi ve konsantrasyonuna ihtiyaç duyulur. Tüm üniteler soğuk su çıkışına monte edilmiş bir termostat ile yük değişiminden kaynaklanan soğuk su sıcaklık değişimini hissederler. Bugün mevcut olan bir çok ünite de soğuk su termostatu, sıcak su debisini veya buhar basıncını düşürerek ısı girişini ayarlayan bir otomatik vanaya kumanda eder. Enerji yönetim tipi kontrol sistemleri verimi maksimize edebilmek için sistemde mevcut tüm sıcaklıkları gösterir.

Soğutma suyu sıcaklık kontrolü

Bazı absorpsiyonlu soğutma makinalarında ve bazı uygulamalarda (bazı proseslerde) soğutma suyu sıcaklık değişimlerinin $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ile sınırlı olması istenir. Bu genellikle soğutma kulesi ve makina arasına üç yollu vana konarak ve absorbere giden su sıcaklığı ile kontrol edilerek yapılır. Vana, sıcaklığı belirlenen sınırlarda kontrol edebilmek için kule suyu ve dönüş suyunun tekrar sirküle etmesine veya karışmasına izin verir.

Absorpsiyonlu makinaların en son modelleri uygulamanın izin verdiği durumlarda, dikkate değer soğutma suyu sıcaklık değişimlerini kabul edecek şekilde tasarlanmaktadır. Ayrıca 7°C 'a kadar absorber giriş sıcaklığına da izin verir. Bu işlevler aşağıdakilerin biri veya birkaçı ile yapılır:

- Bir kontrol vanası sıvı soğutucu akışkanın soğutucu devreden absorban devresine transfer olmasına izin verir.
- Bir kontrol vanası absorbanın absorban devresinden soğutucu akışkan devresine transferine izin verir.
- Bir manuel kontrol buhar vanasının açılışını sınırlar. Su sıcaklığının soğutma yükü şartlarının en düşük limitinde ünitenin çevrimi açmasına veya kapamasına izin verilebilir. Mevcut olduğu durumlarda, daha soğuk kondenser suyu kullanabilecek makinalar daha az enerji ihtiyacı ve önceki makinalara göre ileri mevsimsel işletme ekonomisi anlamına gelir.

Koruyucu cihazlar

Kapasite kontroluna ek olarak lityumbromür-su ile çalışan absorpsiyonlu makinalarda koruyucu cihazlara gerek vardır. Bazı kontroller güvenli çalışma sınırlarının aşılmasına neden olacak hatalı çalışma durumlarında, diğerleri hasar oluşmadan makinayı kapatırken, ünitenin güvenli sınırlar içinde çalışmaya devam etmesini sağlar.

- Düşük sıcaklık devre kesici. Bu cihaz evaporatör sıcaklığı aşırı düştüğünde üniteyi kapatan bir düşük limit termostatıdır. Soğutucu akışkan sıcaklığı devreye alınacak kadar yükseldiğinde switch makinayı tekrar çalıştırmak üzere kendini resetler.
- Soğutma suyu switch'i. Soğutma suyu kaynağında sorun olduğunda üniteyi kapatacak basınç veya debiye duyarlı bir switch tir. Soğutma suyu kaynağı resetlendiğinde switch kendini resetler.
- Soğuk su switch'i. Soğuk su debisi tasarım limitlerinin altına düştüğünde üniteyi kapatacak basınç veya debiye duyarlı bir switch'tir. Uygun soğuk su debisi sağlandığında kendini resetler.
- Konsantrasyon sınırlayıcıları. Bazı makinalar, absorban konsantrasyonunun sınırlayıcı şartlarını gösteren sensörler ile absorber kapasitesini veya jeneratör kapasitesini sınırlayabilen türden değişik kontrollere sahiptirler. Sınırlayıcı şartlar ortadan kalktığında kontrol aygıtları resetlenir. Böyle cihazlar kristalleşmenin önlenmesine yardımcı olur.

4.3.1.2 Küçük tonajlı lityumbromür-su cihazları

Küçük tonajlı makinalar 3-25 ton (10-90 kW) 'a kadar konutlarda veya ticari küçük amaçlı kullanım için tasarlanmışlardır. Direkt ve indirekt ateşlemeli sıvı çilleri, çiller-ısıtıcı ve havalandırma formlarında üretilirler. Şekil 4.5'de ticari boyutlu gaz ateşlemeli ısıtıcı/çiller görülmektedir. Bu sistemde eriyik sirkülasyonu buharlaşma ile sağlanmaktadır.

Küçük tonajlı makinalarda mekanik pompa kullanılmaz. Eriyiğin absorber ve jeneratör arasındaki sirkülasyonu yoğunluk farkları veya sistemdeki küçük basınç farkları ile sağlanır. Absorber ve evaporatör tüpleri kapiler damlalıktan tek yönlü akan sıvı ile ıslatılır.

Jeneratörler, genellikle atmosferik bekleri olan çelik alev borusu konstrüksiyonudur. Gaz bekleri ve yağ bekleri de kullanılır.

Koruyucu cihazlar

Kapasite kontroluna ek olarak lityumbromür-su ile çalışan absorpsiyonlu makinalarda koruyucu cihazlara gerek vardır. Bazı kontroller güvenli çalışma sınırlarının aşılmasına neden olacak hatalı çalışma durumlarında, diğerleri hasar oluşmadan makinayı kapatırken, ünitenin güvenli sınırlar içinde çalışmaya devam etmesini sağlar.

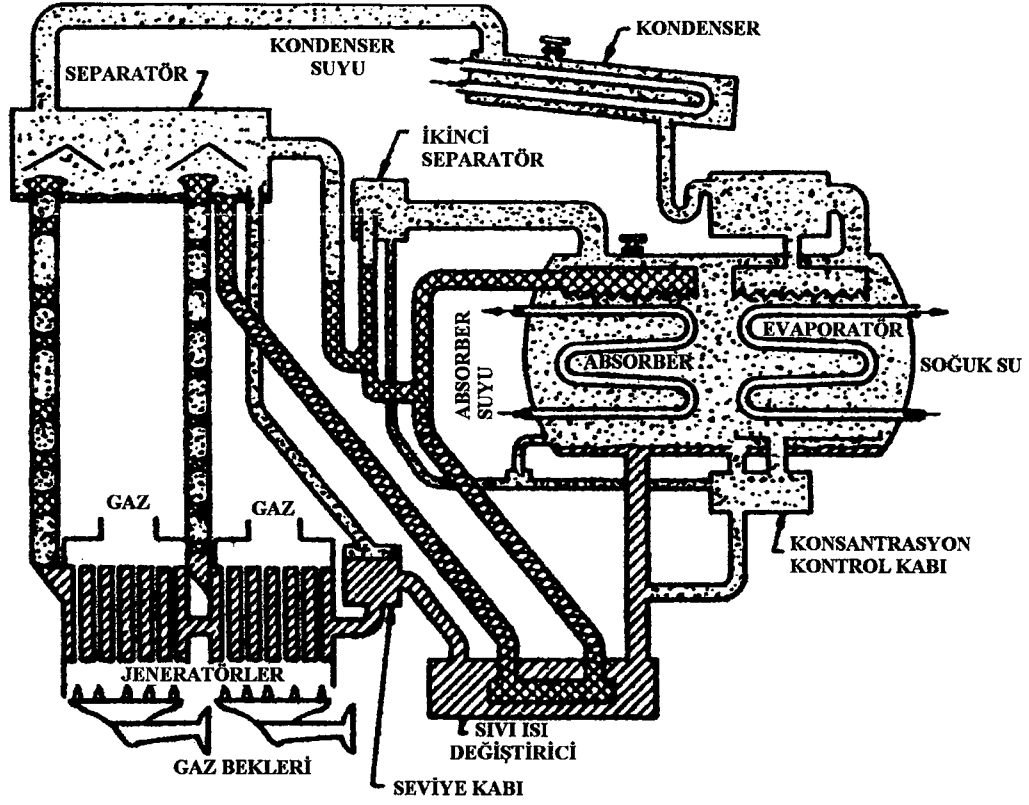
- Düşük sıcaklık devre kesici. Bu cihaz evaporatör sıcaklığı aşırı düştüğünde üniteyi kapatan bir düşük limit termostatıdır. Soğutucu akışkan sıcaklığı devreye alınacak kadar yükseldiğinde switch makinayı tekrar çalıştırmak üzere kendini resetler.
- Soğutma suyu switch'i. Soğutma suyu kaynağında sorun olduğunda üniteyi kapatacak basınç veya debiye duyarlı bir switch tir. Soğutma suyu kaynağı resetlendiğinde switch kendini resetler.
- Soğuk su switch'i. Soğuk su debisi tasarım limitlerinin altına düştüğünde üniteyi kapatacak basınç veya debiye duyarlı bir switch'tir. Uygun soğuk su debisi sağlandığında kendini resetler.
- Konsantrasyon sınırlayıcıları. Bazı makinalar, absorban konsantrasyonunun sınırlayıcı şartlarını gösteren sensörler ile absorber kapasitesini veya jeneratör kapasitesini sınırlayabilen türden değişik kontrollere sahiptirler. Sınırlayıcı şartlar ortadan kalktığında kontrol aygıtları resetlenir. Böyle cihazlar kristalleşmenin önlenmesine yardımcı olur.

4.3.1.2 Küçük tonajlı lityumbromür-su cihazları

Küçük tonajlı makinalar 3-25 ton (10-90 kW) 'a kadar konutlarda veya ticari küçük amaçlı kullanım için tasarlanmışlardır. Direkt ve indirekt ateşlemeli sıvı çilleri, çiller-ısıtıcı ve havalandırma formlarında üretilirler. Şekil 4.5'de ticari boyutlu gaz ateşlemeli ısıtıcı/çiller görülmektedir. Bu sistemde eriyik sirkülasyonu buharlaşma ile sağlanmaktadır.

Küçük tonajlı makinalarda mekanik pompa kullanılmaz. Eriyiğin absorber ve jeneratör arasındaki sirkülasyonu yoğunluk farkları veya sistemdeki küçük basınç farkları ile sağlanır. Absorber ve evaporatör tüpleri kapiler damlalıktan tek yönlü akan sıvı ile ıslatılır.

Jeneratörler, genellikle atmosferik bekleri olan çelik alev borusu konstrüksiyonudur. Gaz bekleri ve yağ bekleri de kullanılır.

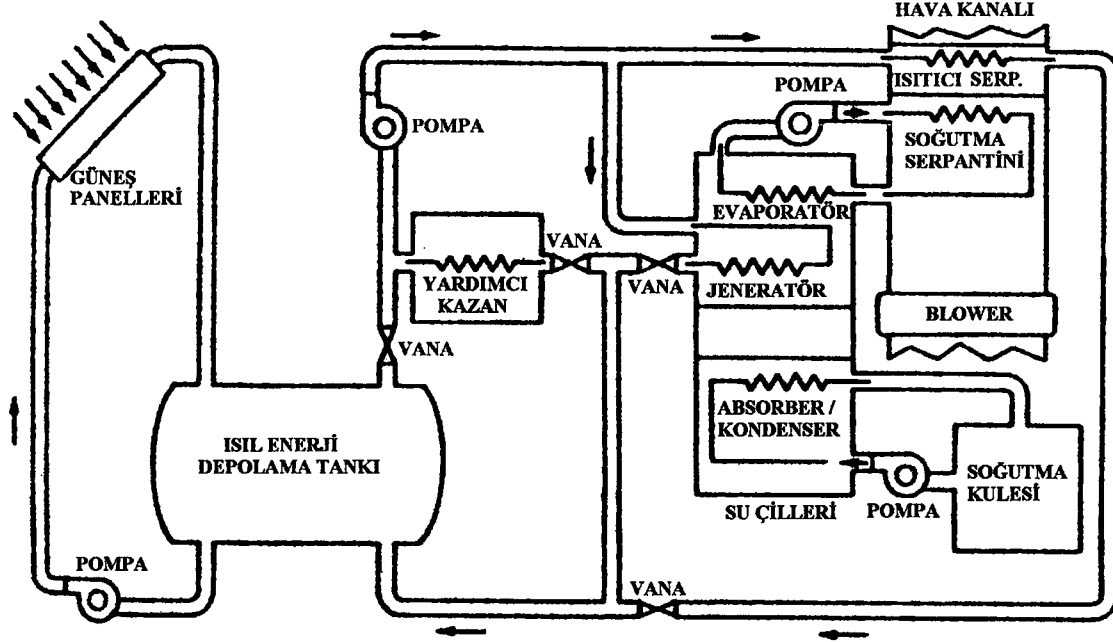


Şekil 4.5 Direkt ateşlemeli lityumbromür çevrimli su çilleri (ASHRAE,1983)

Eriyik ısı değiştiriciler düşük basınç kaybı ve iyi bir ısı transferi elde edebilmek için sık olarak yerleştirilmiş plakalardan oluşmuştur.

Lityumbromür absorpsiyonlu çevrimi plakalı solar kollektörler tarafından sağlanan düşük sıcaklıklarda nispeten yüksek soğutma yapan tek çevrimdir. Şekil 4.6'da tipik bir güneş enerjili ısıtma/soğutma uygulamasının şematik resmi görölmektedir. Güneş enerjisi kollektörler tarafından toplanır ve ısı depolama tankında depolanır. Depolama sıcaklığı absorpsiyon jeneratörünü çalıştıracak kadar yüksek olduğunda, absorpsiyon çevrimine soğutma yapmak üzere enerji verilir. Eğer soğutma isteniyorsa ve sıcaklıklar yeterli değilse ısı, bir yardımcı kazandan karşılanır.

Sistem ihtiyaçlarına bağlı olarak bir çok varyasyon vardır. Bunlar, enerjinin varlığını artırmak için jeneratörü direkt kollektörden ısıtmak, ısı yerine soğu depolama veya bu ikisinin bir kombinasyonu olabilir.



Şekil 4.6 Tipik solar ısıtma/absorpsiyonlu soğutma uygulaması (ASHRAE,1983)

4.3.2 Amonyak-su cihazları

Amonyak-su çevrimli absorpsiyonlu soğutma cihazında amonyak soğutucu, su ise absorbandır. Şekil 4.7’de bu tip bir makinanın şematik diyagramı görülmektedir. Bu makina 3-5 ton (10-18 kW) kapasiteli hava soğutmalı bir su çilleridir.

Amonyak-su cihazının tasarımı lityumbromür-su cihazından farklıdır:

Amonyak gibi su (absorban) da uçucudur. Dolayısıyla zayıf eriyiğin kuvvetli eriyiğe dönüştürülmesi bir kısmi distilasyon prosesidir. Amonyak (soğutucu) çevrimin 2070 kPa civarında kondenser basıncı ve 480 kPa evaporatör basıncında çalışmasına neden olur. Bu durumda kap boyutları oldukça artmakta ve eriyik pompaları pozitif deplasmanlı tipte olmaktadır. Kondenserden yüksek basınçta gelen sıvı amonyak, evaporatörde düşük basınç ve sıcaklığa geçer. Soğutucu akışkan yük ısısını alarak buharlaşır absorberdeki eriyik amonyak buharını absorbe eder ve böylece alçak basınç oluşturur. Absorber ve jeneratör arasında da bir ısı değiştirici vardır. Sistemin hava soğutmalı olması, yoğuşma ve absorpsiyon proseslerinin borular içerisinde olmasını gerektirir. Bu yüzden boruların etrafına kanat takılıp hava ile temas artırılır.

Cihazı Oluşturan Parçalar

Jeneratörler ısıyı yanma ürünlerinden ayırabilmek amacıyla dışı kanatlı olarak üretilmiş dikey tanklardır. İçinde ise, üretilen buhar (yükselen) ile (inen) zayıf eriyik arasında iç karşı akışlı temas oluşturmak için bir analizör plakalar sistemi mevcuttur.

Atmosferik gaz bekleri jeneratörü ateşler. Çıkan akıcı ürünler, uygun yanma havası debisini muhafaza eden kondenser fanının çekişine bağlı olarak , kondenser ve absorberden geçen hava ile karışır.

Isı değiştirciler. Kuvvetli ve zayıf absorbanlar arasındaki ısı geçişi kısmen jeneratör – analizör içerisinde olur. Burada kuvvetli eriyiğe maruz kalan bir serpantin, analizör plakaları boyunca ve kısmen de eriyik tarafından soğutulan absorberde bir spiral oluşturur.

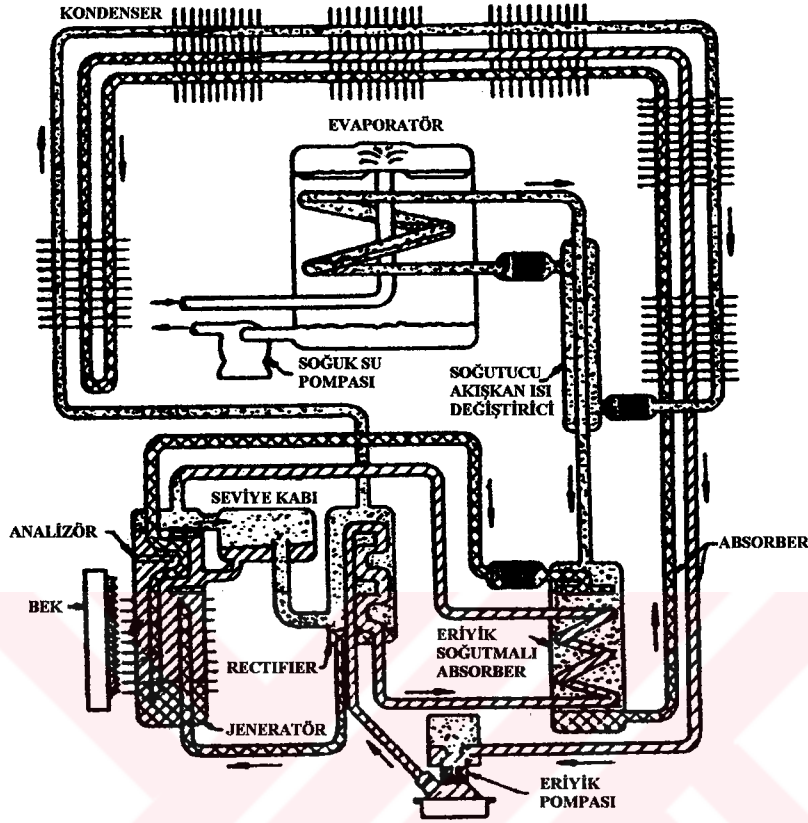
Rectifier .Amonyak-su sisteminde iki maddenin uçuculuklarının birbirine yakın olmasından dolayı, jeneratörde oluşan buhar hala kısmen su buharı içerir. Ancak bu suyun soğutucu akışkanla birlikte evaporatör ve kondensere akmaması için ayrıştırılması gerekir. Su evaporatör şartlarında buharlaşmadığı için, bu işlem yapılmadığı takdirde soğutma kapasitesi düşer. Su buharı, iki aşamada analizör ve rectifier tarafından uzaklaştırılır. Analizör, jeneratörde monte edilmiş bir ısı değiştiricidir. Absorberden gelen soğuk eriyik analizör boyunca amonyak buharı-su buharı karışımını soğutarak akar. Bu işlem su buharının bir kısmını yoğuşturur. Jeneratörden ayrılan buhar diğer bir ısı değiştirici olan rectifier a akar. Burada buhar karışımı kalan su buharını uzaklaştırmak için soğutma suyu tarafından soğutulur. Su jeneratöre , soğutucu akışkan da kondensere döner (Pita, 1984).

Absorber ve kondenser, gelen havanın büyük bir kısmını kondenser boruları üzerinden ve çıkan havanın büyük bölümünün absorber boruları üzerinden akmasını sağlayacak şekilde düzenlenmiş kanatlı borulardır.

Evaporatörlerde soğutulacak sıvı, içerisinde soğutma yükünü alacak ve buharlaşacak olan amonyanın geçtiği serpantinine üzerine püskürtülür. Tank atmosferik basınçta ve üniteler soğutulmuş sıvıyı yük kaynağında sirküle ettirmek için bir pompaya sahiptir.

Eriyik pompaları pozitif deplasmanlı cihazlardır. Eriyik esnek bir diyaframın gel-git hareketi ile emme ve boşaltma valfleri tarafından hareket ettirilir. Gel-git hareketi atmosferik basınçlı

bir pompanın veya esnek bir sızdırmaz malzemenin karşı tarafına iletilen hidrolik akışkan çarpması sonucu oluşur.



Şekil 4.7 Direkt ateşlemeli hava soğutmalı amonyak-su çilleri

Kapasite kontrolü

Ünite genellikle bir termostat aracılığıyla on/off çalışır. Su sıcaklığının (donma sıcaklığı) aşırı düşmesi ihtimaline karşı bir soğuk su switch'i içerir.

Koruyucu cihazlar

Bir takım tipik koruyucu cihazlar vardır. Bunlar gaz bekleri yanmadan önce hava akımı olduğunu gösteren bir switch, bir basınç düşürme valfi ve jeneratör yüksek sıcaklık switch'idir.

4.4 Kullanılan Soğutucu-Absorban Çiftleri ve Özellikleri

Soğutucu absorban çiftini oluşturan maddeler absorpsiyonlu soğutma için gerekli özelliklerin hemen hepsini taşımalıdır. Bunlar arasında en önemlileri (ASHRAE,1981) :

- Katı faz olmaması: Soğutucu-absorban çifti belli bir bileşim ve sıcaklık bölgesinin üzerinde katı faz oluşturmamalıdır. Katı oluşumu akışı durdurup cihazın kapanmasına neden olur.
- Uçuculuk oranı: Soğutucu-absorban çiftinin birbirinden kolayca ayrılabilmesi için, soğutucunun absorbandan çok daha uçucu olması gerekir. Aksi halde ayırma maliyeti ve ısı ihtiyacı artar.
- Kimyasal çekicilik: Absorpsiyonun olduğu şartlarda absorbanın soğutucuya karşı güçlü bir ilgisi olması gerekir.
- Basınç: İşletme basınçlarının (geniş olarak soğutucunun fiziksel özellikleri ile belirlenir) orta seviyede olması istenir. Yüksek basınçlar ekipmanların kalın cidarları olmasını gerektirir. Düşük basınçlar (vakum) ise büyük hacimli ekipman ve soğutucu buharı akışının basınç düşüşünü azaltmak için özel araçlar kullanmayı gerektirir.
- Kararlılık: Nerede ise mutlak kimyasal kararlılığa ihtiyaç vardır. Çünkü akışkanlar uzun yıllar çalışma esnasında çok zor şartlara maruz kalacaklardır. Kararsızlık istenmeyen bir gazın, katının veya korozif bir maddenin oluşmasına neden olur.
- Korozyon: Gerek akışkanlar gerekse kararsızlıktan dolayı ortaya çıkan maddeler yapı elemanlarında korozyona neden olmazlar. Çünkü genellikle korozyon geciktiriciler kullanılır.
- Güvenlik: Sistem, yerleşim birimlerinde kullanılacak ise akışkanlar zehirli ve yanıcı olmamalıdır. Bu açıdan endüstriyel soğutma prosesleri daha az kritiktir.
- Viskozite: Isı ve kütle transferini artırmak ve kısmen pompalama problemlerini azaltmak için akışkanların düşük viskoziteli olması istenir.
- Gizli ısı: Soğutucu akışkan ve absorbanın sirkülasyon hızının minimumda tutulabilmesi için soğutucu akışkanın gizli ısısının yüksek olması gerekir.

Tüm istenilenleri karşılayan bir soğutucu-absorban çifti mevcut değildir. Su-amonyak ve lityumbromür-su çiftleri en uygun olanlardır. Bunlar geniş ticari kullanım alanı bulan çiftlerdir.

Su-amonyak çiftinin uçuculuk oranı istenenden daha küçük ancak ucuz ve kimyasal olarak kararlıdır. Ayrıca amonyak zehirli bir akışkan olduğundan makina tecrit edilmelidir. Amonyakın basınç ve sıcaklık karakteristikleri kaplar içinde yüksek basınçlar oluşturur. Bu yüzden sistemin yüksek basınç tarafındaki ekipmanlarda oldukça güçlü konstrüksiyon gerektirir. Bu sistem düşük sıcaklıklara soğutma için kullanılabilir. Çünkü, soğutucu akışkan olan amonyak ultra düşük sıcaklıklar dışında donmaz (Pita, 1984).

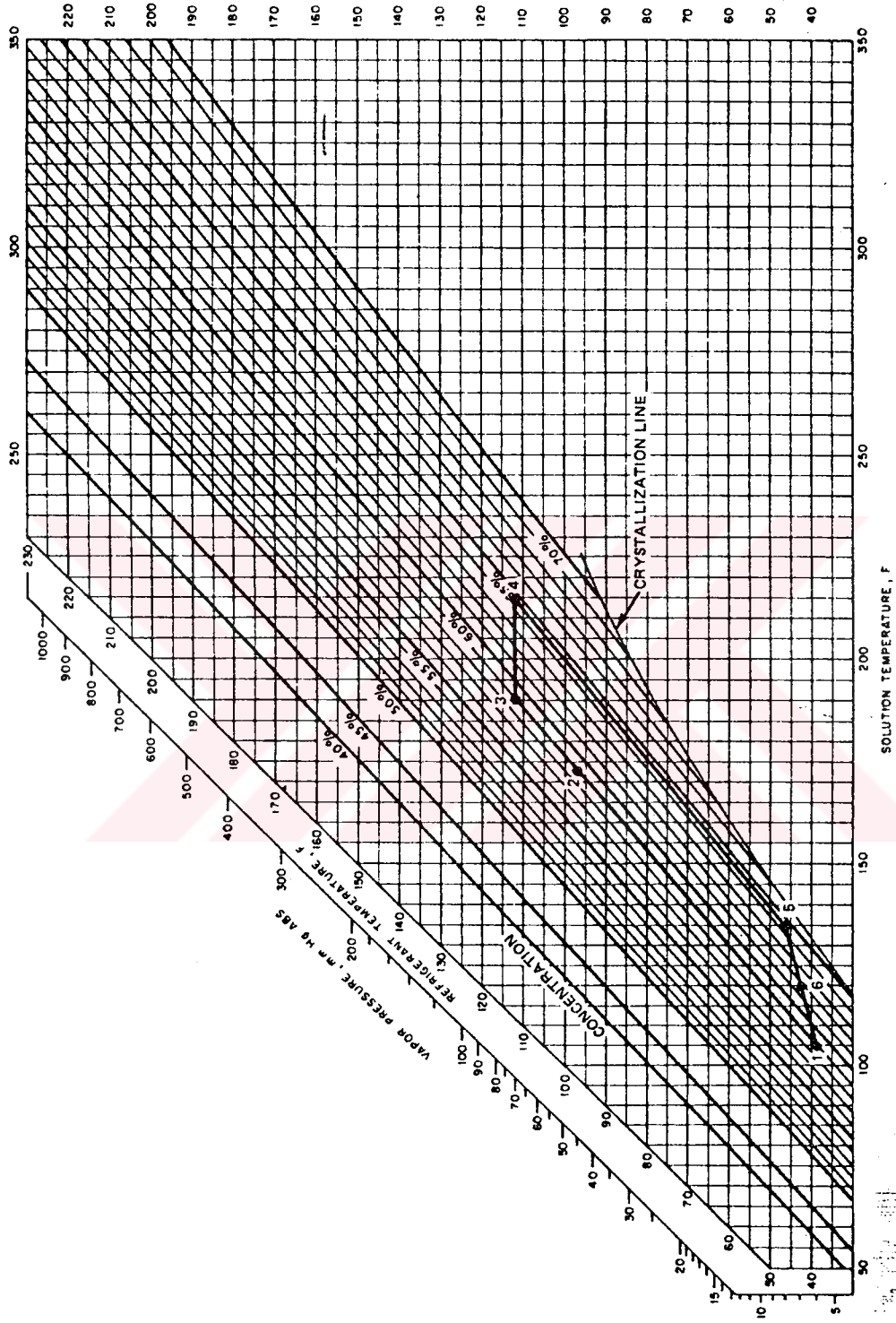
Lityumbromür-su çiftinin temel problemi katı oluşum ihtimalidir. Soğutucu akışkan 0°C'de donduğundan bu çift düşük sıcaklıklara soğutma işlemlerinde kullanılamaz. Ancak klima santralleri için uygundur. Diğer yandan yüksek sıcaklıktaki kuvvetli eriyik soğutulduğunda kristalleşir. Kristalleşme sonucunda ortaya çıkan karışım sulu çamur kıvamında koyu bir yapıdır. Pompalar bu karışıma hareket veremediği için soğutma işlemi durur. Bu çiftin diğer dezavantajları düşük basınç ve lityumbromür eriyiğinin yüksek viskozitesidir. Bu dezavantajlar uygun cihaz tasarımı ile büyük ölçüde aşılmaktadır. Kombinasyon yüksek güvenlik, yüksek uçuculuk oranı, yüksek kimyasal kararlılık ve yüksek gizli ısı avantajlarına sahiptir (ASHRAE,1981 ve Pita,1981).

4.5 Denge Diyagramları

Soğutucu-absorban eriyiklerinin fiziksel özellikleri bir denge diyagramında grafik olarak gösterilir. Lityumbromür-su sistemi için örnek bir denge diyagramı Şekil 4.8'de görülmektedir. Denge diyagramları çevrimin çalışma şeklinin anlaşılmasında ve işletme şartlarının uygun olup olmadığının kontrol edilmesinde büyük fayda sağlarlar. Ayrıca lityumbromür-su sisteminde kristalleşme olup olmayacağına dair fikir verirler.

Bu diyagramda, sıcaklık yatay ekseninde verilmiştir. Buhar basıncı ve buna karşılık gelen soğutucu akışkanın doyma sıcaklığı ise dikey ekseninde verilmiştir. Sağ üst köşeden sol alt köşeye doğru inen eğimli hatlar ise eriyik konsantrasyonunu göstermektedir. Diyagramın sağından keskin bir şekilde inen hat ise kristalleşme hattıdır ve kristalleşmenin oluşacağı sınır şartları gösterir. Bu hattın solunda eriyik sıvı kalır. Eğer şartlar hattın sağına doğru değişirse, eriyik içerisindeki lityumbromürün katılaşması sonucu tortu meydana gelir.

Şekil 4.8'de 1-2-3-4-5-6-1 hatlarıyla tipik çalışma şartları için düzenlenmiş bir çevrim görülmektedir. Bu çevrimde, eriyik absorber ve jeneratör arasında sirküle ederken meydana gelen sıcaklık ve konsantrasyon değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.8 Lityumbromür-su sistemi için tipik eriyik çevrimini gösteren denge diyagramı

Şekil 4.8’de verilen diyagramda evaporatör sıcaklığı 4.5°C’dir.

- 1-2 : Isı değiştiricide sıcaklık artması
- 2-3 : Jeneratörde konsantrasyon değişimsiz sıcaklık artışı
- 3-4 : Jeneratörde soğutucu akışkanın buharlaşmasıyla konsantrasyonun artması
- 4-5 : Kuvvetli eriyiğin ısı değiştiricide soğuması
- 5-6 : Kuvvetli ve zayıf eriyiğin karışması
- 6-1 : Eriyiğin soğutucu akışkan buharı absorbe ederek seyrelmesi

4.6 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Performansı

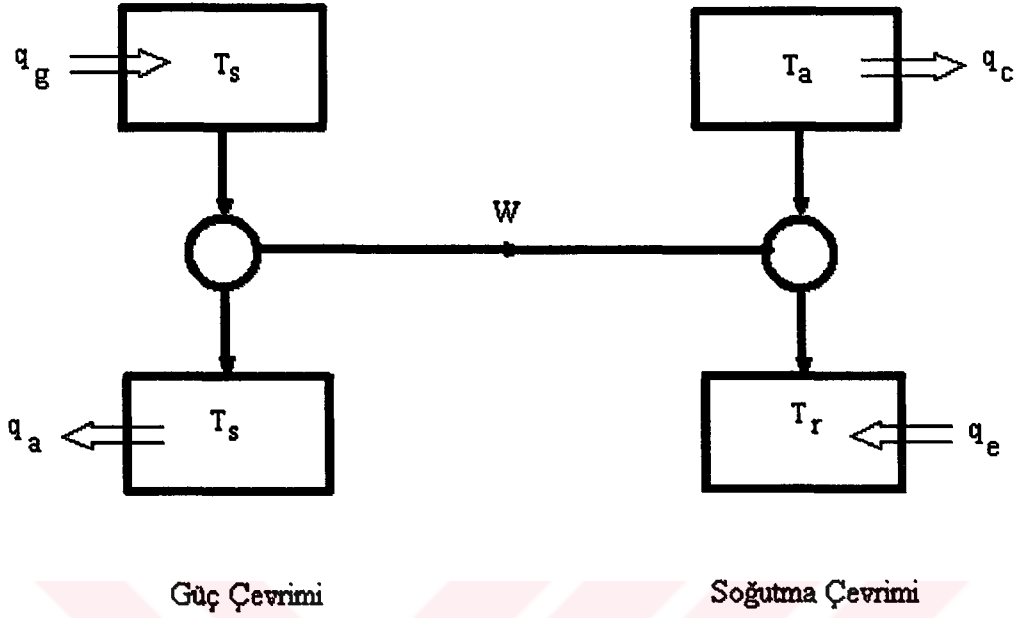
Absorpsiyonlu soğutma çevriminin soğutma etkisi COP_{abs} (coefficient of performance) aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$COP_{abs} = \frac{\text{Evaporatörde çekilen ısı}}{\text{Jeneratöre verilen ısı}} \quad (4.1)$$

COP terimi absorpsiyonlu sisteme uygulandığında , elde edilen değer mekanik sıkıştırırmalı sisteme göre oldukça küçük çıkmaktadır. Yaklaşık 0.60-0.70 civarındadır. Ancak bu fark COP_{abs} terimlerinin farklı olarak tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Mekanik sıkıştırırmalı sistemin COP’si çekilen ısı miktarının sisteme verilen iş miktarına oranıdır. Elektrik santrallerinde yakıttan elde edilen enerjinin sadece 1/3’ü elektriğe dönüştürülür. Gerçekte absorpsiyonlu makina kompresör tahrikli makinanın kullandığı orijinal yakıt içerisindeki ısı enerjisi miktarının yaklaşık iki katını kullanır. Ancak endüstriyel uygulamalarda, çoğunlukla düşük basınçlı atık buhar veya sıcak yanma gazları vardır. Bu enerji hiç bir maliyeti olmayan enerji olarak gözönüne alınabilir. Ayrıca iş formundaki enerji ısı formundaki enerjiden daha değerli ve pahalıdır (Pita, 1984).

Absorpsiyonlu ve mekanik sıkıştırırmalı çevrim verimlerinin farklılığı ideal absorpsiyonlu çevrimin COP’sinin incelenmesi ile görülecektir. Şekil 4.9’daki şemada basit bir çevrim görülmektedir. Sol taraftaki kutulardaki prosesler evaporatörden kondensere giden buharın sıkıştırılması için ihtiyaç duyulan işi sağlayan güç çevrimini oluşturur. Şekil 4.9’dan da görüldüğü gibi güç çevrimi, jeneratörde T_s mutlak sıcaklığında q_g ısısı formunda enerjiyi alır, W iş formunda bir miktar enerjiyi soğutma çevrimine ulaştırır ve absorberde T_a sıcaklığında

q_a kadar ısı enerjisini dışarı atar. Soğutma çevrimi W işini alır ve bununla evaporatörde T_r



soğutma sıcaklığındaki q_e ısını , q_c ısının atıldığı T_a sıcaklığındaki kondensere pompalar.

Şekil 4.9 Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimi

İki sıcaklık arasında termodinamik olarak tersinir çalışan ideal çevrim Carnot çevrimidir. Sıcaklık-entropi (T-S) diyagramında dikdörtgen olarak görünür. Şekil 4.9'un sol tarafındaki güç çevrimi için

$$\frac{q_g}{W} = \frac{T_s}{T_s - T_a} \quad (4.2)$$

ve Şekil 4.9'un sağ tarafındaki soğutma çevrimi için

$$\frac{q_e}{W} = \frac{T_r}{T_a - T_r} \quad (4.3)$$

Eşitlik 4.1'deki soğutma miktarı q_e ve jeneratörde verilen ısı q_g 'dir. q_e ve q_g 'nin yerine Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.3'den elde edilen ifadeler kullanılarak COP

$$\text{COP} = \frac{q_c}{q_g} = \frac{W T_r}{T_a - T_r} \frac{T_s - T_a}{W T_s} = \frac{T_r (T_s - T_a)}{T_s (T_a - T_r)} \quad (4.4)$$

olarak bulunur (Stoecker vd,1982).



5. KOJENERASYON SİSTEMİ VE ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ KOMBİNASYONU

Bir kojenerasyon tesisi bir motor veya türbin/jeneratör setinden oluşur. Bunların yanında soğutma suyu, yağlama yağı ve egzost ısısından yararlanmak için de ısı değiştiriciler kullanılır. Bazı uygulamalarda elde edilen ısıyı kullanacak bir proses olmayabilir. Ancak aynı sistemde klima veya dondurma işlemleri gibi değişik amaçlı soğutma ihtiyacı olabilir. Böyle durumlarda hem elde edilen ısıyı kullanmak, hem de soğutma ihtiyacını karşılamak için absorpsiyonlu soğutma sistemleri kullanılabilir (Zieger,1997).

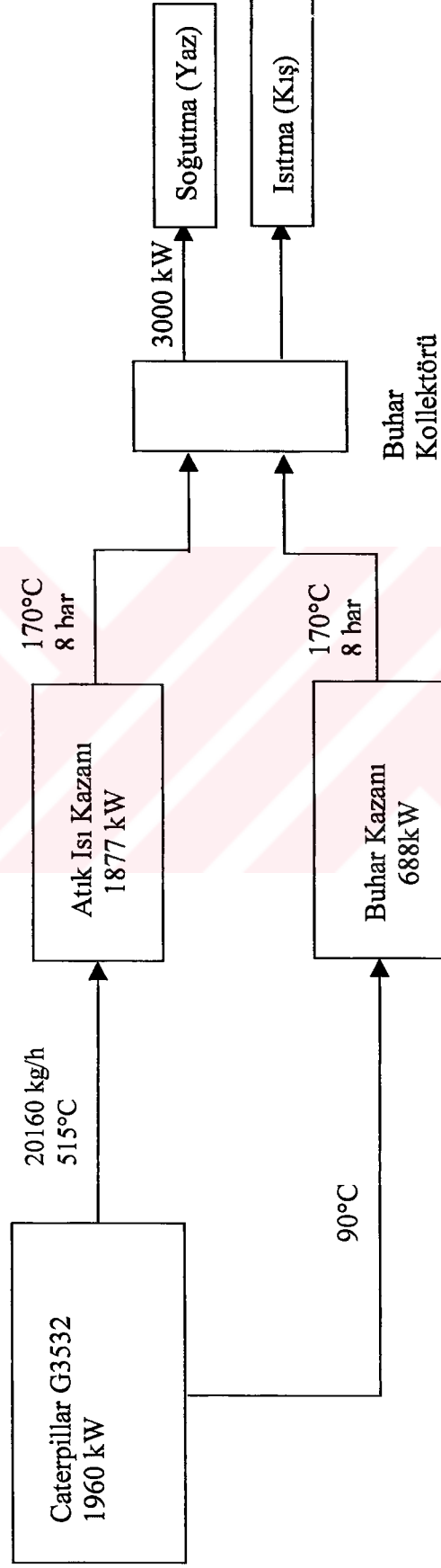
Kojenerasyon tesisi ve absorpsiyonlu soğutma sistemi kombinasyonunun avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Soğutma yükünü karşılamak amacı ile egzost ısısının kullanılması modülün işletme saatini artırır,
- Şebeke elektrik yükü azalır ve dolayısıyla elektrik maliyeti azalır,

Mekanik sıkıştırımlı sistem yerine absorpsiyonlu sistem kullanılmasının avantajları :

- CFC kullanılmamasından dolayı çevreyle dost soğutma,
- Hareketli parçaların az olmasından dolayı uzun çalışma ömrü,
- Düşük bakım ve onarım maliyeti,
- Düşük güç tüketimi.

Bu çalışma kapsamında yapılacak olan örnek hesaplamalar için, “Dizayn Teknik A.Ş. İzolasyonlu Boru Tesisi” seçilmiştir. Bu firma, iç ve dış tesisat sistemleri ile tarımsal sistemler üretmektedir. Tesiste 20 adet ekstruder ve 20 adet enjeksiyon makinası bulunmaktadır. Tesisin 1960 kW elektrik ve 3000 kW soğutma yükü bulunmaktadır. Bu değerler dikkate alınarak gaz motorlu kojenerasyon sistemi ve sistemde proses ısısı ihtiyacı olmadığından elde edilebilecek buharı kullanabilmek için absorpsiyonlu soğutma sistemi uygulanması öngörülmüştür. Şekil 5.1’de bu sistemin bir şeması verilmiştir. Uygulanacak kojenerasyon ve absorpsiyonlu soğutma sistemine ait özellikler aşağıda verilmiştir:



Şekil 5.1 Kojenerasyon ve absorpsiyonlu soğutma sistemi şematik resmi

Önerilen Sistemin Gücü

	<u>BİRİM</u>	<u>TOPLAM</u>
Elektrik	: 1960	1.960 ekW
Mekanik	: 2035	2.035 bkW

Model	: G3532 CATERPILLAR
Sıkıştırma Oranı	: 12.0
After Cooler Sıcaklığı	: 54°C
Ceket Suyu Sıcaklığı	: 99°C
Rakım	: 200 m
Ortalama Sıcaklık	: 30°C
Standart EkW	: 1960
Güç Çarpanı	: %100
Adet	: 1
Yıllık Çalışma Saati	: 8000
Yıllık Elektrik Kesintisi	: 100

Yakıt : Doğal Gaz

Kullanılan Yakıtın Birim Bedeli	:	73700 TL/Nm ³
Kullanılan Yakıtın Alt Isıl Değeri	:	34485 kJ/Nm ³
1 kWh Elektrik Üretim Bedeli	:	21083 TL/kWh 0.045 \$/kWh
Yıllık yakıt tüketimi	:	4485524 Nm ³ /yıl
Elektrik üretimi	:	1960 kW
Sistemde kullanılan iç ihtiyaç	:	60 kW
Net elektrik üretimi	:	1900 kW
Yıllık net elektrik üretimi	:	15200000 kWh/yıl
Sistemin Yıllık Elektrik Üretimi	:	15680000 ekW
Tesisin Yıllık Elektrik Gereksinimi	:	15680000 ekW
Birim Yakıt Tüketimi	:	0.275 m ³ /bkW-h
Toplam Yakıt Tüketimi	:	561 m ³ /h
Sistemin Net Elektriksel Verimi	:	%36
Tesisin Net Elektriksel Kullanımı	:	%100

5.1 Kojenerasyon Sisteminden Elde Edilecek Isı Miktarlarının Hesabı

Kojenerasyon sisteminde elde edilen ısılar, aşağıda belirtilen kaynaklardan sağlanmaktadır.

- Motor gövde soğutucusu
- Şarj havası soğutucusu
- Egzost gazları

Motor gövde soğutucusu

$$\text{Motor gövde soğutucu debisi} = 6,3 \text{ kg/s}$$

$$\text{Motor gövde soğutucusu giriş sıcaklığı} = 99^\circ\text{C}$$

$$\text{Motor gövde suyu çıkış sıcaklığı} = 80^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_{gs} &= m_{gs} \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 6,3 \cdot 4,18 \cdot (99 - 80) \end{aligned}$$

$$Q_{gs} = 498 \text{ kW}$$

Şarj havası soğutucusu

$$\text{Şarj havası soğutucusu debisi} = 2 \text{ kg/s}$$

$$\text{Şarj havası soğutucusu giriş sıcaklığı} = 54^\circ\text{C}$$

$$\text{Şarj havası soğutucusu çıkış sıcaklığı} = 40^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_{sh} &= m_{sh} \cdot C_p \cdot \Delta T \\ &= 2 \cdot 4,18 \cdot (54 - 40) \end{aligned}$$

$$Q_{sh} = 114 \text{ kW}$$

Egzost gazı eşanjörü

$$\text{Egzost gazı debisi} = 5,6 \text{ kg/s}$$

$$\text{Egzost gazı giriş sıcaklığı} = 515^\circ\text{C}$$

$$\text{Egzost gazı çıkış sıcaklığı} = 180^\circ\text{C}$$

$$Q_{eg} = m_{eg} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 5,6. 1 \cdot (515 - 180)$$

$$Q_{eg} = 1880 \text{ kW}$$

Sistemin ürettiği toplam ısı

$$Q = 2 \cdot (Q_{gs} + Q_{sh}) + Q_{eg}$$

$$= 2 \cdot (498 + 114) + 1880$$

$$Q = 3104 \text{ kW}$$

Sistemden elde edilebilecek buhar miktarı

$$Q_{eg} = m_b \Delta h$$

8 bar 170°C buhar elde etmek için

$$1880 = m_b (2770 - 426.36)$$

$$m_b = 0.8 \text{ kg/s} = 2888 \text{ kg/h}$$

Sistemden elde edilebilecek sıcak su miktarı

$$Q_{gs} = m_{ss} \Delta h$$

90-60 °C sıcak su elde etmek için

$$2 \times 498 = 996 = m_{ss} (376.94 - 251.09)$$

$$m_b = 7.9 \text{ kg/s} = 28491 \text{ kg/h}$$

Sistemden elde edilebilecek ılık su miktarı

$$Q_{sh} = m_{is} \Delta h$$

$$2 \times 114 = m_{is} (117.31 - 75.50)$$

$$m_{is} = 5.35 \text{ kg/s} = 19287 \text{ kg/h}$$

5.2 Çevrim verimleri

Yıllık yakıt tüketimi (YYT)	:	42761600 kWh/yıl
Yıllık elektrik üretimi (YEÜ)	:	1960 x 8000 = 15680000 kWh/yıl
Yıllık ısı üretimi (YİÜ)	:	3104 x 8000 = 24832000 kWh/yıl

$$\text{Elektrik verimi } \eta_{el} = \frac{YEÜ}{YYT} \times 100 = \frac{15680000}{42761600} \times 100 = \%36$$

$$\text{Isıl verim } \eta_{th} = \frac{YİÜ}{YYT} \times 100 = \frac{24832000}{42761600} \times 100 = \%58$$

$$\text{Sistem verimi } \eta = \eta_{el} + \eta_{th} = \%94$$

Sistemin Yıllık Elektrik Üretimi, [ekW]	:	15680000
Tesisin Yıllık Elektrik Gereksinimi, [ekW]	:	15680000
Birim Yakıt Tüketimi, [m ³ /bkW-h]	:	0.275
Toplam Yakıt Tüketimi, [m ³ /h]	:	561
Sistemin Net Elektriksel Verimi	:	%36
Tesisin Net Elektriksel Kullanımı	:	%100
Ham Su Sıcaklığı, [°C]	:	60
Kullanılan Sıcak Su Sıcaklığı, [°C]	:	90
Kullanılan Buhar Basıncı, [bar]	:	8
Kazan Besi Suyu Sıcaklığı, [°C]	:	102
Egzostun Kazandan Çıkış Sıcaklığı, [°C]	:	180

Çizelge 5.1 Sistemin ürettiği ısılar

	A/C Isısı	Blok	Egzoz Isısı	Toplam
Sistemin Ürettiği Isılar, [kW]:	228	996	1880	3104
Kullanılabilen	28°C Sıcak Su	90°C Sıcak Su	Buhar	Toplam
Miktar, [kg/h]:	19287	28491	2888	
Birim, [kW/h]:	179	992	1877	3048
Yıllık, [kW]:	1432000	7936000	15016000	24384000
Kullanılan	28°C Sıcak Su	Sıcak Su	Buhar	Toplam
Miktar, [kg/h]:		6347	1412	
Birim, [kW/h]:		225	918	1143
Yıllık, [kW]:		1802435	7343453	9145888
Sistemin Net Isıl Verimi:		%58		
Tesisin Isıl Kullanımı:		%58		
Sistemin Verimi:		%94		
Sistemin Kullanım Verimi:		%58		

Sistemde kullanılacak absorpsiyonlu çillerin özellikleri

3000 kW soğutma yükünü karşılamak üzere Mitsubishi MDS 90E çift etkili çiller seçilmiştir.

Çizelge 5.2 Absorpsiyonlu çillerin özellikleri

Model	: Mitsubishi MDS 90E	
Adet	: 1	
Soğuk Su	Giriş Sıcaklığı	12°C
	Çıkış Sıcaklığı	7°C
	Debi	544.5 m ³ /h
Soğutma Suyu	Giriş Sıcaklığı	32°C
	Çıkış Sıcaklığı	37.5°C
	Debi	900 m ³ /h
Buhar	Giriş Basıncı	8 bar
	Tüketim	3960 kg/h
Elektrik	Eriyik Pompası 1	7.5 kW
	Eriyik Pompası 2	3.0 kW
	Soğutucu Akışkan Pompası	2.2 kW
	Vakum Pompası	0.4 kW
	Toplam	13.1 kW

Çizelge 5.3 Soğutma kulesi özellikleri

Model	: HSK RSK N430
Adet	: 2
Hava Debisi	: 169000 m ³ /h
Motor Güçleri:	22 × 2 kW

Absorpsiyonlu çillerde ihtiyaç duyulan ek buhar miktarı

Absorpsiyonlu çillerde 3960 kg/h buhara ihtiyaç vardır. Kojenerasyon sisteminden 2888 kg/h buhar elde edilebilmektedir. İhtiyaç duyulan 1072 kg/h buhar için ilave buhar kazanı konulacaktır. Kazanda verilmesi gereken ısı:

$$Q_b = m_b (h_b - h_0)$$

$$Q_b = 1072 (2667 - 355,3)$$

$$Q_b = 2478142 \text{ kJ/h} = 688 \text{ kW}$$

İlave doğalgaz tüketim miktarı

$$V_{dg} = \frac{Q_b}{H_{u_{dg}} \eta_k}$$

$$V_{dg} = \frac{2478142}{34485 \cdot 0,80}$$

$$V_{dg} = 89,8 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Çizelge 5.4 Sistemin ilk yatırım giderleri

İlk Yatırım Giderleri, G _y		
Kojenerasyon Sistemi	1310000	\$
Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi	330500	\$
Soğutma Kulesi	35420	\$
Buhar Kazanı	5864	\$
Net Yatırım Maliyeti	1681784	\$

Çizelge 5.5 Sistemin işletme giderleri

Sistemin İşletme Giderleri , G_i			
KOJENERASYON SİSTEMİ			
YAKIT:			
	Yakıt Tüketimi	4485524	Nm ³ /yıl
	Yıllık Yakıt Gideri	-710000	\$/yıl
YAĞ:			
	Yakılan Yağ Sarfiyatı	-2952	\$/yıl
SERVİS:			
	Yedek Parça ve Sarf Malzemeleri Gideri	0.97	Cent/kWh
	(5 yılın Ortalaması)	-152000	\$/yıl
PERSONEL:			
	Personel Gideri-Kişi: 3	-27000	\$/yıl
İÇ GÜÇ TÜKETİMİ:			
	İç Elektrik Tüketim Miktarı	61	kW
	Yıllık İç Elektrik Tüketim Gideri	-22000	\$/yıl
ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ			
ELEKTRİK:			
	Elektrik Tüketim Miktarı	101,1	kW
	Yıllık İç Elektrik Tüketim Gideri	-55763	\$/yıl
BUHAR KAZANI			
YAKIT:			
	Yakıt Tüketimi	718400	Nm ³ /yıl
	Yıllık Yakıt Gideri	-108968	\$/yıl
BAKIM:			
	Yıllık Bakım Onarım Gideri	-1000	\$/yıl
ELEKTRİK:			
	TEDAŞ'tan Satın Alınmayacak ekW	15680000	kW/yıl
	Ortalama Elektrik Tüketim Bedeli	33500	TL/kWh
		0.0718	\$/kwh
	Belediye Vergisi Oranı	%1	
	Elektrikten Yıllık Net Kazanç	+1128000	\$/yıl
ISI:			
	Kazanda Üretilmeyecek Isı Miktarı	1915	kW
	Yıllık Tasarruf Edilen Doğal Gaz Miktarı	1996242	Nm ³ /yıl
	Isıdan Dolayı Yıllık Net Kazanç	+302792	\$/yıl
	Yıllık Toplam İşletme Gideri	+346528	\$/yıl

Sistemin kendini geri ödeme süresi Eşitlik 5.1 kullanılarak hesaplanabilir (Yılmaz,1997).

$$t_g = \frac{\ln\left(\frac{G_i}{G_i - G_y \cdot f}\right)}{\ln(1+f)} \text{ [yıl]} \quad (5.1)$$

G_i = Yıllık işletme giderleri [\$/yıl]

G_y = İlk yatırım giderleri [\$/yıl]

Çizelge 5.5 Sistemin işletme giderleri

Sistemin İşletme Giderleri , G_i			
KOJENERASYON SİSTEMİ			
YAKIT:			
	Yakıt Tüketimi	4485524	Nm ³ /yıl
	Yıllık Yakıt Gideri	-710000	\$/yıl
YAĞ:			
	Yakılan Yağ Sarfıyatı	-2952	\$/yıl
SERVİS:			
	Yedek Parça ve Sarf Malzemeleri Gideri	0.97	Cent/kWh
	(5 yılın Ortalaması)	-152000	\$/yıl
PERSONEL:			
	Personel Gideri-Kişi: 3	-27000	\$/yıl
İÇ GÜÇ TÜKETİMİ:			
	İç Elektrik Tüketim Miktarı	61	kW
	Yıllık İç Elektrik Tüketim Gideri	-22000	\$/yıl
ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ			
ELEKTRİK:			
	Elektrik Tüketim Miktarı	101,1	kW
	Yıllık İç Elektrik Tüketim Gideri	-55763	\$/yıl
BUHAR KAZANI			
YAKIT:			
	Yakıt Tüketimi	89,8	Nm ³ /yıl
	Yıllık Yakıt Gideri	-108968	\$/yıl
BAKIM:			
	Yıllık Bakım Onarım Gideri	-1000	\$/yıl
ELEKTRİK:			
	TEDAŞ'tan Satın Alınmayacak ekW	15680000	kW/yıl
	Ortalama Elektrik Tüketim Bedeli	33500	TL/kWh
		0.0718	\$/kwh
	Belediye Vergisi Oranı	%1	
	Elektrikten Yıllık Net Kazanç	+1128000	\$/yıl
ISI:			
	Kazanda Üretilmeyecek Isı Miktarı	1915	kW
	Yıllık Tasarruf Edilen Doğal Gaz Miktarı	1996242	Nm ³ /yıl
	Isıdan Dolaylı Yıllık Net Kazanç	+302792	\$/yıl
	Yıllık Toplam İşletme Gideri	+346528	\$/yıl

Sistemin kendini geri ödeme süresi Eşitlik 5.1 kullanılarak hesaplanabilir (Yılmaz,1997).

$$t_g = \frac{\ln\left(\frac{G_i}{G_i - G_y \cdot f}\right)}{\ln(1 + f)} \text{ [yıl]} \quad (5.1)$$

G_i = Yıllık işletme giderleri [\$/yıl]

G_y = İlk yatırım giderleri [\$/yıl]

t_g = Sistemin kendini geri ödeme süresi [yıl]

f = Yıllık dolar faizi [%]

Eşitlik 5.1 kullanılarak geriödeme süresi $f = \%5$ olarak hesaplanacak olursa,

$$t_g = \frac{\ln\left(\frac{346528}{346528 - 1681784 \cdot 0,05}\right)}{\ln(1 + 0,05)}$$

$$t_g = 5 \text{ yıl } 8 \text{ ay}$$

olarak bulunur.

Cihazın kullanma süresi boyunca elde edilen kar ise Eşitlik 5.2 den hesaplanır (Yılmaz,1997).

$$G_K = G_i \frac{(1+f)^i - 1}{f} - (1+f)^i \cdot G_y \quad (5.2)$$

$$G_K^* = \frac{G_K}{G_y} \quad (5.3)$$

$i = 1 \dots n$ olarak cihazın kullanılma yıllarını

G_K = Cihazın kullanma süresi boyunca elde edilen kar [\\$]

Eşitlik 5.2 ve Eşitlik 5.3'e göre sistemin karlılığı hesaplanarak Çizelge 5.6 oluşturulmuştur.

Çizelge 5. 6 Sistemin kullanım süresine göre karlılık değerleri

i	G_K [\\$]	G_{K1}^*
5	-231644	-0,140
10	1624944	0,966
15	3934406	2,339
20	6978697	4,1495

Sistemde üretilen tüm ısının kullanılması durumunda kendini geri ödeme süresi ve karlılığı tekrar hesaplanarak, her iki sistemin karlılık değerleri Şekil 5.1'deki diyagram üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 Sistemin ürettiği ısılar

	A/C Isısı	Blok	Egzoz Isısı	Toplam
Sistemin Ürettiği Isılar, [kW]:	228	996	1880	3104
Kullanılabilen	28°C Sıcak Su	90°C Sıcak Su	Buhar	Toplam
Miktar, [kg/h]:	19287	28491	2888	
Birim, [kW/h]:	179	992	1877	3048
Yıllık, [kW]:	1432000	7936000	15016000	24384000
Kullanılan	28°C Sıcak Su	Sıcak Su	Buhar	Toplam
Miktar, [kg/h]:	19287	28491	2888	
Birim, [kW/h]:	179	992	1877	3048
Yıllık, [kW]:	1432000	7936000	15016000	24384000
Sistemin Net Isıl Verimi:		%58		
Tesisin Isıl Kullanımı:		%58		
Sistemin Verimi:		%94		
Sistemin Kullanım Verimi:		%58		

Çizelge 5.8 Sistemin işletme giderleri

Sistemin İşletme Giderleri, G_i			
KOJENERASYON SİSTEMİ			
YAKIT:			
	Yakıt Tüketimi	4485524	Nm ³ /yıl
	Yıllık Yakıt Gideri	-710000	\$/yıl
YAĞ:			
	Yakılan Yağ Sarfiyatı	-2952	\$/yıl
SERVİS:			
	Yedek Parça ve Sarf Malzemeleri Gideri (5 yılın Ortalaması)	0.97	Cent/kWh
		-152000	\$/yıl
PERSONEL:			
	Personel Gideri-Kişi: 3	-27000	\$/yıl
İÇ GÜÇ TÜKETİMİ:			
	İç Elektrik Tüketim Miktarı	61	KW
	Yıllık İç Elektrik Tüketim Gideri	-22000	\$/yıl
ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ			
ELEKTRİK:			
	Elektrik Tüketim Miktarı	101,1	kW
	Yıllık İç Elektrik Tüketim Gideri	-55763	\$/yıl
BUHAR KAZANI			
YAKIT:			
	Yakıt Tüketimi	718400	Nm ³ /yıl
	Yıllık Yakıt Gideri	-108968	\$/yıl

BAKIM:			
	Yıllık Bakım Onarım Gideri	-1000	\$/yıl
ELEKTRİK:			
	TEDAŞ'tan Satın Alınmayacak ekW	15680000	kW/yıl
	Ortalama Elektrik Tüketim Bedeli	33500	TL/kWh
		0.0718	\$/kwh
	Belediye Vergisi Oranı	%1	
	Elektrikten Yıllık Net Kazanç	+1128000	\$/yıl
ISI:			
	Kazanda Üretilmeyecek Isı Miktarı	3048	kW
	Yıllık Tasarruf Edilen Doğal Gaz Miktarı	3177309	Nm ³ /yıl
	Isıdan Dolayı Yıllık Net Kazanç	+481937	\$/yıl
	Yıllık Toplam İşletme Gideri	+525673	\$/yıl

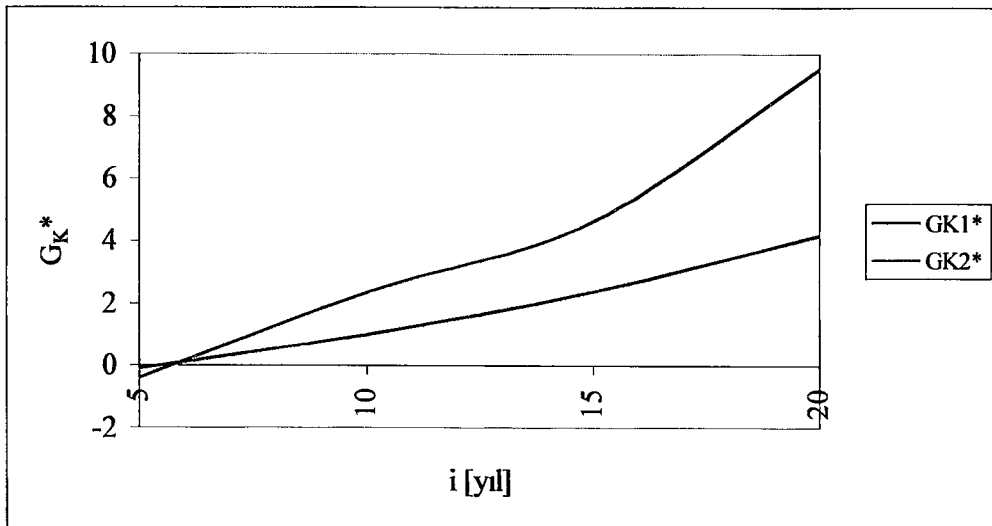
Eşitlik 5.1 kullanılarak geri ödeme süresi $f = \%5$ olarak hesaplanacak olursa,

$$t_g = \frac{\ln\left(\frac{525673}{525673 - 1681784 \cdot 0,05}\right)}{\ln(1 + 0,05)}$$

$$t_g = 3 \text{ yıl } 6 \text{ ay}$$

Çizelge 5.9 Sistemin kullanım süresine göre karlılık değerleri

i	G _K [\$]	G _{K2} *
5	-702768	-0,417
10	3882172	2,300
15	7768109	4,618
20	15954176	9,480



Şekil 5.2 Sistemlerin kullanım sürelerine göre karlılık durumları

6. SONUÇLAR

Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde enerji ihtiyacı oldukça artmıştır. Özellikle sanayinin hızlı gelişimi bu sektörün enerji tüketimini de aynı hızda artırmıştır. Enerji ihtiyacının artması, kaynakların yetersizliği, enerji maliyetinin yüksek oluşu ve elektrik kalitesinin düşük olması sonucunda yüksek verimli sistemleri kullanma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu amaçla kojenerasyon sistemleri gündeme gelmiştir. Özellikle tekstil, kağıt, kimya, gıda gibi hem kaliteli elektrik hem de ısı gereksinimi olan sektörler için kojenerasyon sistemleri kurmak avantajlı hale gelmiştir. Bu sistemlerin enerjinin tüketildiği yerlere kurulmasından dolayı, hat kayıplarının ortadan kalkması ve toplam enerji çevrim verimlerinin şebeke santrallerinin verimlerine göre daha yüksek olması enerji tasarrufunu artırmaktadır. Bu çalışmada kojenerasyon sistemleri ve absorpsiyonlu soğutma sistemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Dizayn Teknik A.Ş. İzolasyonlu Boru Tesisi için örnek bir çalışma yapılarak, tesiste proses amaçlı ısı ihtiyacı olmadığından eldeki atık ısıyı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde değerlendirme yoluna gidilmiştir. Bir kojenerasyon sistemi ve absorpsiyonlu soğutma sistemi seçilerek bunlara ait hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda oluşturulan fizibilite çalışmasında sistemin kendini geri ödeme süresi 5 yıl 8 ay olarak bulunmuştur. Burada, sistemin ürettiği tüm elektrik enerjisinin kullanıldığı, ancak elde edilen yüksek miktarda ısı kullanılmadığı takdirde yapılan yatırımın kendini geri ödeme süresinin arttığı ve sistemin kurulma amacı olan ısı tasarrufu ilkesinden saptığı görülmektedir. Yapılan karlılık hesapları göstermiştir ki üretilen tüm ısının kullanılması durumunda sistemin kendini geri ödeme süresi 5 yıl 8 ay'dan 3,5 yıla düşmektedir.

Sonuç olarak; bir kojenerasyon sistemi, uygulama yapılacak tesisin hangi oranda ısı ve elektrik ihtiyacı olduğu dikkate alınarak seçilmeli ve elde edilen ısının mutlaka yararlı bir şekilde kullanılması yoluna gidilmelidir.

KAYNAKLAR

Abut, N., Çakır, B., Akça, Ü., Bozkurt, A., Ertürk N., (1997), “2000’li Yıllarda Ulusal Arz-Talep Dengesi Işığında Türkiye Enerji Politikaları”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 7.Enerji Kongresi, Ankara, 31-40

Ağış, Ö. ,(1998), “Kojenerasyonun Yaşamayı ve Gelişmesi Lazım”, İstanbul 4.Uluslararası Kojenerasyon ve Çevre Konferansı, 28-29 Nisan 1998,, Ankara, 24-29

ASHRAE Handbooks, (1981), Fundamentals Volume, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers , Atlanta,Ga.

ASHRAE Handbooks, (1983), Equipment Volume, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers , Atlanta,Ga.

Cüneyit, T. ,(1997), “Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Günümüz Türkiye’sindeki Yeri”, İstanbul 3.Uluslararası Kojenerasyon Konferansı, 8-9 Eylül 1997, İstanbul, 154-156

Derbentli, T., (1999), “Türkiye Kojenerasyon Raporu”, Doğal Gaz,LPG, Petrol ve Enerji Dergisi, Mayıs/Haziran 1999, İstanbul, Teknik Yayıncılık, Sayı:62, 127-133

Dilip, R. , (1992) , Planning Cogeneration Systems, Fairmont Press, Atlanta

Enerji İstatistikleri,1997, Türkiye 7. Enerji Kongresi, Enerji İstatistikleri, (1997), 291

Koçak, T. ve Gülşen, O. , (1998), “Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon” ,Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı , 24-25 Ekim 1998, İstanbul, 35-58

Külçe, N. ve Topuz, G., (1996), “Kojenerasyon Sistem seçimi ve Türkiye Örneği”, 2.Uluslararası Birleşik Isı ve Güç Üretimi Konferansı, 20-21 Haziran 1996, İstanbul, 65-67

Mendilcioğlu, M., (1998), “Otoprodüktörlük Uygulamaları”, 4.Uluslararası Kojenerasyon ve Çevre Konferansı, 28-29 Nisan 1998, Ankara, 21-23.

Pita, G.E.,(1984), Refrigeration Principles and Systems, Wiley and Sons, New York

Schroedter, B, “Cogeneration with Gas Engines and Gas Turbines”, MAN Dezentrale Energiesysteme GmbH Presentation, November 1993

Stoecker, W.F. ve Jones, J.W., (1982), Refrigeration and Air Conditioning, McGraw-Hill International Editions, New York

Topuz, G. ,(1998), “Türkiye’de Kojenerasyon Tesislerinin Önemi ve Ağır Yakıtın Avantajları”, İstanbul 4.Uluslararası Kojenerasyon ve Çevre Konferansı, 28-29 Nisan 1998,, Ankara, 40-45

Wilkinson,B.W. ve Barnes, R.W. , (1980), Cogeneration of Electricity and Useful Heat, CRC Press Inc. , Florida

Yılmaz, T. ,(1997), “Isı Geri Kazanım Sistemleri” , III.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 20-23 Kasım 1997, İzmir, 109-133

Zieger, P.M. ,(1997), "Cogeneration to Cover Demand on Heat and Refrigeration",İstanbul
3.Uluslararası Kojenerasyon Konferansı, 8-9 Eylül 1997, İstanbul,97-102



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	04.06.1975	
Doğum Yeri	İstanbul	
Yüksek Lisans	1996 – 2000	YTÜ Fen Bilimleri Enst. Mak.Müh. Anabilim Dalı Isı Proses Programı
Lisans	1991 - 1995	YTÜ Makina Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Lise	1985 - 1991	Tuna Lisesi

Çalıştığı Kurumlar

1997 Haziran-	Yıldız Teknik Üniversitesi Mak.Fak. Makine Müh.Böl. Termodinamik ve Isı Tekniği A.B.D. Araştırma Görevlisi
1995 –1996	Yahya Kemal İlkokulu Branş Öğretmeni