

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Makina Mühendisliği

Ana Bilim Dalı

Isı Proses

Yüksek Lisans Tezi

# MEVCUT BİR FABRİKADA TRİJENERASYON UYGULAMASI

Hazırlayan: İhsan İSTER

Makina Mühendisi

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ahmet KOYUN

İSTANBUL

2006

# İÇİNDEKİLER

|  | Sayfa     |
|--|-----------|
| SİMGE LİSTESİ .....  | iv        |
| ŞEKİL LİSTESİ.....   | v         |
| TABLO LİSTESİ.....   | vi        |
| ÖNSÖZ .....  | vii       |
| ÖZET .....   | viii      |
| ABSTRACT .....   | ix        |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. KOJENERASYON NEDİR ?.....   | 1         |
| 1.2. TRİJENERASYON NEDİR?.....   | 5         |
| 1.3. KOJENERASYONUN AVANTAJLARI.....   | 5         |
| 1.4. OTOPRODÜKTÖRLÜK VE KOJENERASYONUN GELECEĞİ.....                                   | 6         |
| 1.5. KOJENERASYON TESİSLERİNDEN NERELERDE VE NASIL YARARLANILIR..                      | 8         |
| 1.6. KOJEN TESİSİ NELERDEN OLUŞUR?.....  | 9         |
| 1.6.1. GAZ TÜRBİNİ.....  | 9         |
| 1.6.2. GAZ MOTORU.....   | 10        |
| 1.6.3. DİZEL MOTORLARI.....  | 10        |
| 1.6.4. ATIK ISI GERİ KAZANIM.....  | 10        |
| 1.7. KOJEN TESİSLERİ İÇİN YAKIT SEÇENEKLERİ.....                                       | 11        |
| <b>2. TRİJENERASYON.....</b>   | <b>12</b> |
| <b>3. ABSORPSİYONLU (YUTMALI) SOĞUTMA SİSTEMLERİ.....</b>                              | <b>14</b> |
| 3.1. PRATİK ABSORBSİYONLU SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ.....                                     | 18        |
| 3.2. SOĞUTUCU AKIŞKAN – ABSORBE EDİCİ ÇİFTİNİN KARAKTERİSTİKLERİ..                     | 18        |
| 3.3. TERMODİNAMİK ANALİZ.....  | 21        |
| 3.4. SU – LİTYUM BROMİD ABSORBSİYONLU SOĞUTMA MAKİNALARI.....                          | 21        |
| <b>4. KOJENERASYON'A ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ<br/>UYGULANMASI VE ANALİZİ.....</b> | <b>25</b> |
| 4.1. SİSTEMİN TASARIMI.....  | 25        |
| 4.2. TEK ETKİLİ SİSTEMİN ANALİZİ.....  | 26        |
| <b>5. ÖRNEK SİSTEM DİZAYNI VE FİZİBİLETSİ.....</b>                                     | <b>35</b> |
| 5.1. KABULLER:.....  | 35        |
| 5.2. ATIK ISLARIN GERİ KAZANIMI.....   | 38        |

|   | Sayfa     |
|---|-----------|
| 5.2.1. BUHAR ÜRETİMİ.....   | 38        |
| 5.2.1.1. ATIK ISI GERİ KAZANIM KAZANI DİZAYNI.....                | 39        |
| 5.2.1.2. ATIK ISI GERİ KAZANIM KAZANI TOPLAM ISI KAPASİTESİ.....  | 46        |
| 5.2.2. 70 – 90 °C SICAK SU ÜRETİMİ.....                           | 47        |
| 5.2.3. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ.....                         | 47        |
| 5.3. SİSTEM FİZİBİLİTESİ.....                                     | 53        |
| 5.3.1. TASARRUFLAR.....   | 53        |
| 5.3.1.1. ELEKTRİK ÜRETİMİ.....                                    | 53        |
| 5.3.1.2. BUHAR ÜRETİMİ.....                                       | 53        |
| 5.3.1.3. BİNA ISITMA.....   | 54        |
| 5.3.1.4. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA.....                               | 54        |
| 5.3.2. İŞLETİM GİDERLERİ.....                                     | 54        |
| 5.3.3. FİZİBİLİTE SONUÇ.....                                      | 55        |
| <b>6. ÇEŞİTLİ KOJENERASYON UYGULAMALARI.....</b>                  | <b>57</b> |
| 6.1. ABSORBSİYON CHİLLER İLE SOĞUTMA.....                         | 58        |
| 6.2. KURUTMA HAVASI ÜRETİMİ.....                                  | 59        |
| 6.3. KIZGIN YAĞ VE ENDÜSTRİYEL ISITMA.....                        | 59        |
| 6.4. MERKEZİ ISITMA.....  | 60        |
| 6.5. ENDÜSTRİYEL VE MERKEZİ ISITMA.....                           | 60        |
| 6.6. SERA ISITMASI.....   | 61        |
| 6.7. DESALİNİZASYON İLE SUYUN TUZDAN ARINDIRILMASI UYGULAMASI.... | 61        |
| 6.8. ÇÖPLÜK GAZI UYGULAMASI.....                                  | 62        |
| KAYNAKLAR.....  | 63        |
| ÖZGEÇMİŞ.....   | 64        |

## SİMGE LİSTESİ

|            |  |
|------------|--|
| B          | Birim kütle için kullanılabilirlik                                     |
| h          | Antalpi  |
| ho         | Ortam şartlarındaki antalpi  |
| To         | Ortamın mutlak sıcaklığı   |
| s          | Antropi  |
| so         | Ortam şartlarındaki antropi  |
| RE         | Buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan kütleli debisi,                    |
| QE         | Buharlaştırıcı soğutma yükü  |
| Hv         | Buharlaştırıcı çıkışında soğutucu akışkan buharının antalpisi,         |
| HI         | Yoğuşturucudan gelen sıvı soğutucu akışkanın entalpisi                 |
| RA         | Absorberden çıkan eriyik içindeki soğutucu akışkan kütleli oranı       |
| RG         | Jeneratörden çıkan eriyik içindeki soğutucu akışkan kütleli oranı      |
| X          | Absorberden çıkan eriyik kütleli birim soğutucu akışkan kütleli oranı  |
| X – 1      | Jeneratörden çıkan eriyik kütleli birim soğutucu akışkan kütleli oranı |
| l          | Soğutucu akışkan birim kütleli   |
| WFSA       | Absorberde çıkan eriyikteki lityum bromid kütleli oranı                |
| WFSG       | Jeneratörden çıkan eriyikteki lityum bromid kütleli oranı              |
| T          | Sıcaklık   |
| X          | Derişim  |
| STK        | Soğutma Tesir Katsayısı  |
| Q          | Geçen Isı Miktarı  |
| H          | Entalpi  |
| m          | Kütle  |
| P          | Basınç   |
| S          | Entropi  |
| $\Phi$     | Kullanılabilirlik  |
| $\epsilon$ | İkinci Kanun Verimi  |
| b          | Buharlaştırıcı   |
| k          | Kaynatıcı  |
| yo         | Yoğuşturucu  |
| a          | Absorber   |
| IE         | Isı değiştiricisi  |

## ŞEKİL LİSTESİ

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Şekil-1   | Kojenerasyonun şematik görünüşü.....   | 1  |
| Şekil-2   | Kojenerasyon sistemi verimi.....   | 2  |
| Şekil-3   | Elektrik veya ısının ayrı ayrı üretilmesindeki verimler.....                           | 2  |
| Şekil-4   | Kombine çevrimli kojenerasyon.....   | 3  |
| Şekil-5   | Trijenerasyon basit görünüşü.....  | 5  |
| Şekil-6   | Türkiye’deki otoprodüktörlerin dağılımı.....   | 7  |
| Şekil-7   | Otoprodüktör üretimin toplam içindeki pay.....   | 7  |
| Şekil-8   | Trijenerasyon.....   | 12 |
| Şekil-9   | Lityum bromid-su eriyikli tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimi.....              | 16 |
| Şekil-10  | Lityum bromid-su eriyikli tek kad. absorpsiyonlu soğ. çevrimi. bas.-sıc. diagramı..... | 17 |
| Şekil- 11 | LiBr-Su absorpsiyonlu soğutma çevrimi.....   | 23 |
| Şekil-12  | Tek etkili LiBr-Su çevrimi.....  | 30 |
| Şekil-13  | Yoğuşma sıcaklığına göre SKT değişimi.....   | 33 |
| Şekil-14  | Absorber sıcaklığına göre SKT değişimi.....  | 34 |
| Şekil-15  | Absorber sıcaklığına göre SKT değişimi.....  | 34 |
| Şekil-16  | Sistem Tasarımı.....   | 35 |
| Şekil-17  | Sistem Şeması.....   | 36 |
| Şekil-18  | Örnek sistem doğalgaz motoru ile elektrik üretimi ve atık ısılar diagramı.....         | 37 |
| Şekil-19  | Örnek sistem atık ısı geri kazanım buhar kazanımı.....                                 | 46 |
| Şekil-20  | Lityum bromid-su eriyikli tek kademeli absorpsiyonlu soğ. çevrimi.....                 | 48 |
| Şekil-21  | Motordan gelen 90–70°C sıc. su ile bina ısıt.& abs. soğ. ile bina soğ. yapılması....   | 52 |
| Şekil-22  | Kış Dönemi Çalışma Verimleri.....  | 56 |
| Şekil-22  | Yaz Dönemi Çalışma Verimleri.....  | 56 |
| Şekil-24  | Mevsim Geçiş Dönemi Çalışma Verimleri.....   | 56 |
| Şekil-25  | Kojenerasyon sistemindeki toplam verim.....  | 57 |
| Şekil-26  | Yağlama yağından sıcak su üretimi.....   | 58 |
| Şekil-27  | Absorpsiyonlu chiller ile kojenerasyon soğutma yapılması.....                          | 58 |
| Şekil-28  | Kojenerasyon sisteminde kızgın yağ elde edilmesi.....                                  | 59 |
| Şekil-29  | Kojenerasyon sisteminden kızgın yağ elde edilmesi.....                                 | 59 |
| Şekil-30  | kojenerasyon sistemi ile bölgesel ısıtma yapılması.....                                | 60 |
| Şekil-31  | Ekmek fırını uygulaması.....   | 60 |
| Şekil-32  | Sera ısıtılması.....   | 61 |
| Şekil-33  | Deniz suyundan içme suyu elde edilmesi.....  | 61 |
| Şekil-34  | Çöplük gazından enerji elde edilmesi.....  | 62 |

## TABLO LİSTESİ

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Tablo-1 Akışkanların karşılaştırılması.....             | 28           |
| Tablo-2 Çevrim noktalarının özellikleri.....            | 32           |
| Tablo-3 Çeşitli çalışma şartlarına göre derişimler..... | 33           |
| Tablo-4 Yıllık tasarruf ve gider tablosu.....           | 55           |

## ÖNSÖZ

Ülkemiz; enerji kaynaklarında %70 dışa bağımlıdır. Bu nedenle; enerji kaynaklarının bilinçli ve daha verimli kullanılması son derece önemlidir.

Enerji kaynaklarından etkin bir biçimde yararlanma yöntemlerinden bir tanesi de “Trijenerasyon” sistemi kullanılmasıdır. Bu sistemde bir çeşit enerji kaynağı kullanılarak; elektrik üretimi, ısıtma ve soğutma gibi üç çeşit enerjiye geçiş sağlanabilmekte, adeta bir taşla üç kuş vurulabilmektedir.

Ülkemiz açısından, artan enerji maliyetlerini azaltmak, karşılaşılan enerji darboğazlarını aşabilmek için enerji alanında üretken olmak gerekmektedir. Bu nedenle; beni bu konuda bilinçlendiren, bu konuda bir çalışma yapmam için teşvik eden ve her konuda destekleyen hocam; Sn. Doç. Dr. Ahmet Koyun 'a teşekkürü bir borç bilirim.

## **ÖZET**

Trijenerasyon sistemi kojenerasyon sisteminin gelişmiş bir halidir. Elektrik üretiminin yanı sıra ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisi ve absorpsiyonlu soğutma ile soğutma enerjisi ihtiyaçları karşılanabilmektedir.

Bu çalışmada; mevcut bir fabrikada trijenerasyon sisteminin kullanılabilirliği araştırılmış, sistem fizibilitesi yapılmıştır.

**Anahtar Kelime:** Trijenerasyon

## **ABSTRACT**

Trigeneration is the development of the cogeneration. In addition to producing electricity; heating and cooling energy - by absorption chiller - can be produced.

In this study; utility of a trigeneration in a present plant has been searched and feasibility of the system has done.

**Keyword:** Trigeneration

## 1. GİRİŞ

### 1.1. KOJENERASYON NEDİR ?

Kojenerasyon gaz türbini, gaz motoru veya dizel motoru vasıtasıyla yüksek ısı veriminde ısı ile birlikte elektrik üretimidir.

Teorik olarak, kojenerasyon sisteminde gaz türbini veya gaz / dizel motoru belirli bir miktar elektrik üretmek üzere elektrik jeneratörünü döndürürken, egzost gazları veya motor soğutma suyu vasıtasıyla türbin veya motorun ürettiği önemli miktarda faydalı atık ısıyı atık ısı kazanı veya ısı eşanjörleri kullanarak buhar, sıcak su veya sıcak hava üretimi olarak çevrimi yapılır.

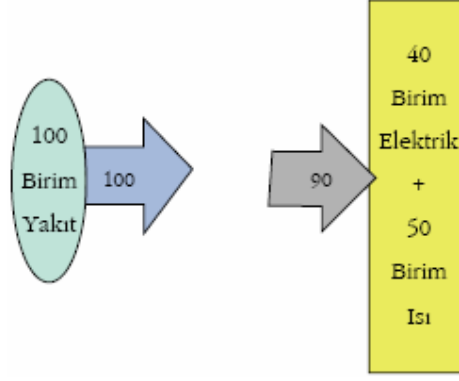
Bu durumda, kojenerasyon tesisleri sadece yakıt girdisi kullanarak çok yüksek ısı verim ile hem elektrik, hem de buhar, sıcak su veya sıcak hava formunda ısı üretirler.

Kojenerasyon, İngilizce “Combined Generation” in kısaltması olan “Cogeneration” anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle, Birleşik Jenerasyonun kısaltılmış haline Kojenerasyon denmektedir. Kojenerasyonun şematik görüntüsü şekil-1’de gösterilmektedir.

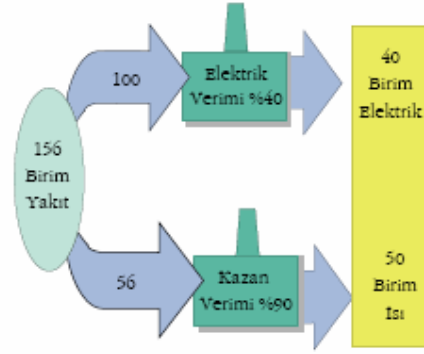


Şekil-1: Kojenerasyonun şematik görünüşü

Kojenerasyon , aynı makinadan hem elektrik enerjisi hem de ısı enerjisi üretmek demektir. Bu özelliğinden dolayı kojenerasyon sistemleri, konvansiyonel sistemlerden elektrik ve ısı enerjisinin ayrı ayrı üretilmesi ile karşılaştırdığımızda büyük bir enerji tasarrufu sağlamaktadır. Şekil-2 ve Şekil-3’ de konvansiyonel sistemlere nazaran birincil enerji kaynaklarında ne kadar tasarruf sağlanacağı hesap edilmiştir.



Şekil-2: Kojenerasyon sistemi verimi



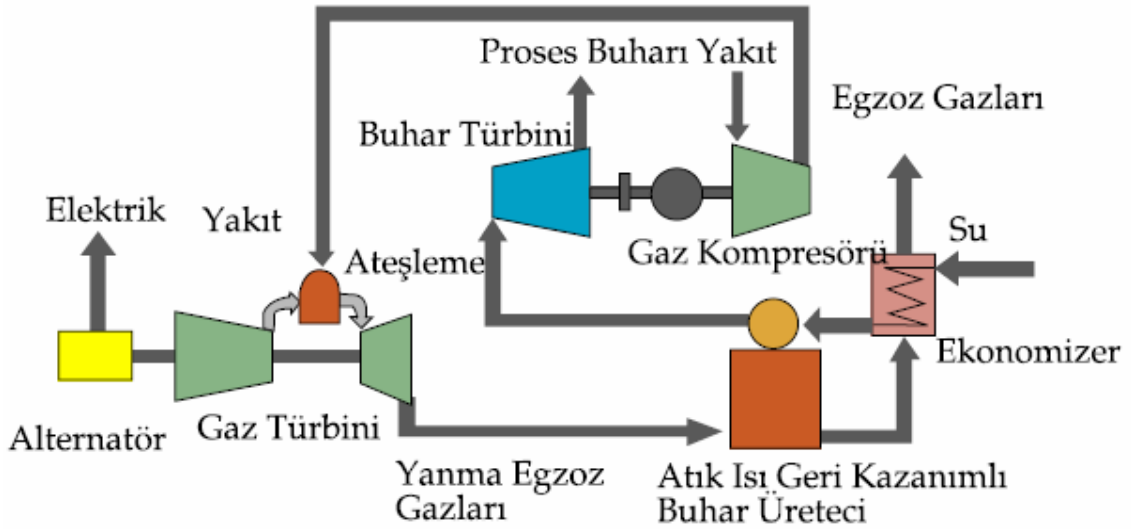
Şekil-3: Elektrik veya ısının ayrı ayrı üretilmesindeki verimler

Kojenerasyon sistemlerine giren 100 birimlik birincil enerjinin, 30-40 birimi elektrik enerjisi ve 40-50 birimlik kısmı da ısıl enerji olmak üzere toplam 90 birime kadar geri kazanılmaktadır.

Aynı ısıl ve elektrik enerjisini konvansiyonel sistemlerden yararlanarak üretmek isteydik bakınız durum ne olacaktı.

Kojenerasyon sisteminden elde ettiğimiz 40 birimlik elektrik enerjisini elde edebilmek için, % 40 çevrim verimi olan jeneratörde 100 birimlik bir enerji girdisi, 50 birimlik ısı enerjisini elde etmek için ise %90 çevrim verimine haiz kazana 56 birimlik bir enerji girmek gerekiyor. Sonuç olarak kojenerasyon sisteminden 100 birim enerji kullanarak üretebileceğiniz enerjiyi, konvansiyonel sistemler ile 156 birim enerji kullanarak üretebiliyoruz. Sonucunda 56 birimlik bir enerji tasarrufu sağlıyoruz. Bu miktardaki enerji tasarrufu büyük maddi ve toplumsal getiriler sağlamaktadır.

Kojenerasyon, bir başka deyişle bileşik ısı güç üretimi, tek bir kaynaktan elde edilen enerji ile güç ve ısı enerjisini bir arada üretebilen sistemlerde, birincil yakıt olan doğalgaz, dizel yakıtı gibi kaynaklardan faydalanarak ihtiyaçlar çerçevesinde elektrik ve ısı üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bileşik ısı güç santrallerinde, buhar türbinli çevrim (Rankine Çevrimi), gaz türbinli çevrim (Brayton Çevrimi) veya birleşik gaz buhar çevrimi kullanılabilir. Sistemde elektrik eldesi, gaz ve dizel motorlar veya gaz türbinlerinde, sağlanan birincil yakıt enerjisinin shaft gücüne çevrilmesiyle elde edilir. Bu shaft gücü bir alternatör yardımıyla elektrik enerjisi şekline dönüştürülür. Bu işlem esnasına ortaya çıkan atık ısının geri kazanımıyla da atık ısı elde edilmiş olur. En verimli kojenerasyon çevrimi birleşik gaz buhar çevrimidir. Bu çevrim Brayton ve Rankine çevriminin birleştirilmesinden meydana gelmektedir. Gaz türbini veya motora, hava yakıt karışımı sağlanır ve yanma sonucu burada iş elde edilip, çıkan sıcak gazlar ısı geri kazanımlı buhar üreticiden geçirilir. Burada buhar çevrimine aktarılır ve ısıyı alan çevrimde yüksek basınçlı buhar elde edilmektedir. Buhar daha sonra türbinde genişleyerek iş yapar ve bir miktar ısı çevreye atılırken, bir miktar ısıda proses veya ısınma için ayrılmaktadır. En yaygın kojenerasyon yöntemidir. Gaz türbininden atılan ısı değerlendirilerek, ekstra bir boiler ihtiyacı olmaksızın buhar türbini de kullanılabilir.



Şekil-4: Kombine çevrimli kojenerasyon

Kojenerasyon teknolojisi ihtiyaca göre çok çeşitli şekillerde uygulanabilmektedir. Bunlardan en yaygın uygulamalar olarak, bölgesel ısıtma yapan, elektrik üretimini ısıtma yapılan bölgeye ve şehir şebekesine veren sistemler, endüstriyel tesislerdeki ısı ve elektrik ihtiyacı için kurulmuş, yine artan elektriği şebekeye veren sistemler gösterilebilir. Bu tesislerin genel

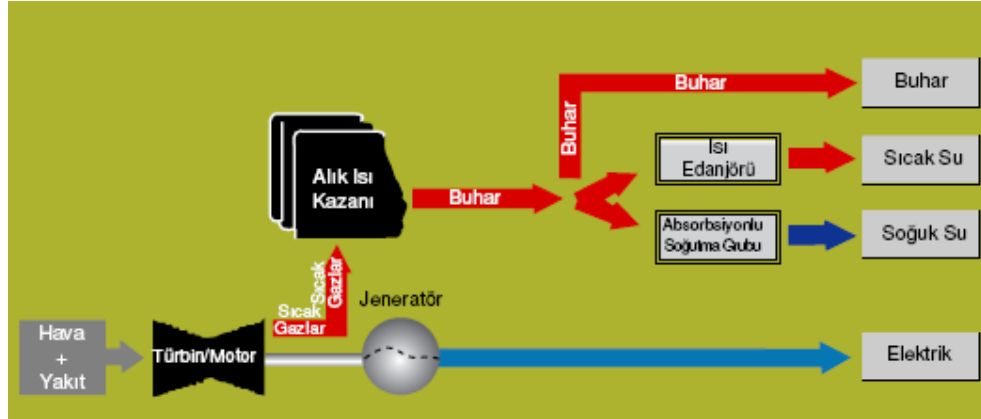
verimleri %70 - %85 civarındadır. Ayrıca elektriğin ayrı, ısının ayrı üretildiği sistemlere göre % 40-%42 daha verimli çalışmaktadırlar. Mühendislik sistemlerinin büyük bölümünde enerji gereksinimi ısı biçimindedir. Kağıt, petrol, çelik gıda ve tekstil gibi endüstrilerde ısı işlemler önemli yer tutar. Bu endüstrilerde proses ısısı genellikle 5 ile 7 atmosfer basınçları arasında ve 150°C ile 200°C sıcaklıkları arasında su buharı ile sağlanır. Isıl işlemlerin yoğun olduğu bu gibi endüstrilerde elektrik harcamaları da gayet yüksektir. Bu bakımdan elektrik ve proses ısını birarada üretimi bu tip sanayilerde gayet ekonomik ve kullanışlı olabilmektedir.

Çoğu zaman kurulum tasarımı yıllık toplam ısı ihtiyacı baz alınarak yapılmaktadır. Kojenerasyon, yıllık pik ısı ihtiyacının %20 ila %50' sini karşılamalıdır. Bu da yıllık toplam ısı ihtiyacının %60 - %90'ına denk gelmektedir. Her şartta çalışabilmesi ve süreklilik sağlanması bakımından iki veya daha fazla kojenerasyon ünitesi kullanılması uygun olmaktadır. Elektrik üretimi için de mümkün olduğu kadar yüksek kapasite hedeflenmelidir. Böylece ihtiyaç fazlası olabilecek elektrik şebekeye ülkenin kanunlarına da bağlı olarak satılabilir. Ekonomik açıdan da elde edilen ısı ve elektriğin sağladığı mali fayda ile bu üretim için harcanan enerji maliyeti, ilk yatırım, işletme giderleri gibi etkiler karşılaştırılmalıdır.

## 1.2. TRİJENERASYON NEDİR?

Kojenerasyonun bir adım ilerisiyse Trijenerasyon olarak adlandırılmakta olup elektrik, ısı ve soğutma olarak üçlü kombine jenerasyon şeklinde tanımlanmaktadır.

(Bkz.şekil 5).



Şekil-5: Trijenerasyon basit görünüşü

Trijenerasyonda, absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanılarak kojenerasyonun atık gazından elde edilen sıcak su veya buhar ile soğuk su üretilmektedir.

## 1.3. KOJENERASYONUN AVANTAJLARI

Kojenerasyonun en büyük avantajı ihtiyaç duyulan enerji türlerinin istenildiği zaman ve miktarda üretilebilmesi, diğer bir deyişle Enerji Bağımsızlığı'dır. Bu avantaj için en iyi örnek toplu yerleşime uzak konumda olan bir konut veya site olabilir. Bu mekana kurulacak bir kojenerasyon tesisi ile bütün ihtiyaçlar karşılanabilir. Böyle bir tesiste herhangi bir yakıt enerji ihtiyacını kolaylıkla giderebilecektir. Genelde kojenerasyon sistemleri bir kaç yakıtı kullanabilecek şekilde dizayn edilmektedir.

Enerji bağımsızlığının yanında ikinci avantaj olarak Enerji Kalitesi ve Devamlılığı sıralanabilir. Bu konuyu daha iyi anlaya bilmek için elektrik kesintilerini, voltaj ve frekans düzensizliklerini ve bu yüzden oluşan insan sağlığını tehdit edebilecek nitelikteki şartları, ürün ve işçilik kaybını, aleyhte oluşan rekabet şartlarını ve daha sayılabilecek benzeri bir çok neden rahatlıkla bulunabilmektedir.

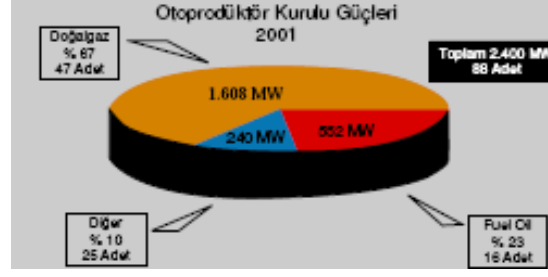
Kojenerasyon sistemlerinin fizibilite çalışmalarında basit geri ödeme süresi çoğu zaman üç yılın altında çıkmakta, diğer bir anlatım tarzı ile kojenerasyon için yapılan yatırımın karşılığı üç yıllık bir süre içerisinde mevcut sistemden daha ucuza temin edilecek enerji üretimindeki tasarruf ile geri kazanılmaktadır.

Bir diğer önemli avantaj ise kojenerasyonun çevre dostu olmasıdır. Çevre mevzuatı ile uyumlu bir ekipman olması sayesinde Kyoto Protokolü ile ülkelere getirilen sorumlulukları rahatlıkla karşılayabilecek durumdadır. Yakın gelecekte “Emisyon Transferi” için oluşacak pazar için para basan bir makina haline gelecektir.

#### **1.4. OTOPRODÜKTÖRLÜK VE KOJENERASYONUN GELECEĞİ**

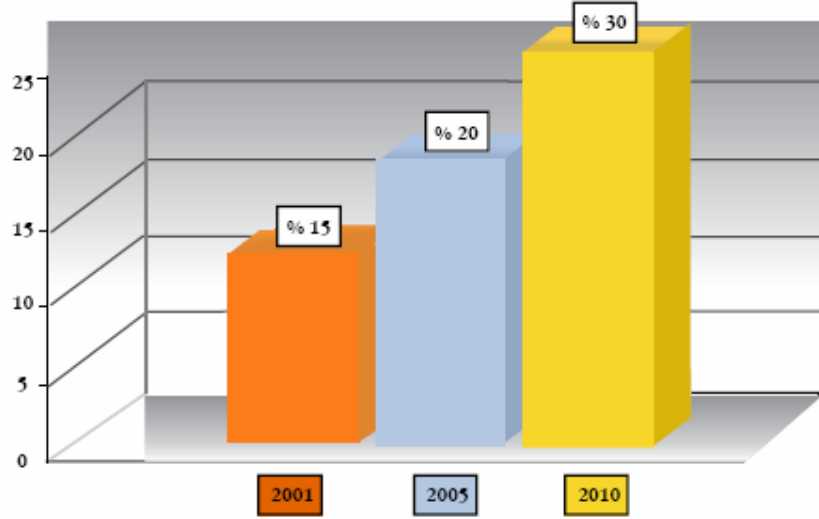
Otoprodüktörlük, “Auto-production”ın Türkçe karşılığı olup, kendi ihtiyacı için enerji üretimi yapan gerçek veya tüzel kişi anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, kendi veya ortaklarının ihtiyacını karşılayacak miktarda çeşitli enerji kaynaklarının kullanımıyla kendi mekanında elektrik, ısı ve soğuk su üretilmesi olmaktadır. Otoprodüktörlük veya Kojenerasyon uygulamaları ülkemizde 1990 yılından itibaren ve özellikle büyük sanayi kuruluşları tarafından kullanılmaya başlanmış ve gelişmeye devam etmektedir. Günümüzde, bu tür uygulamaların kurulu gücü 2.400 MW’ı aşmış ve Türkiye’nin yıllık elektrik ihtiyacının yüzde 15’ini karşılar duruma gelmiştir.

Kojenerasyon ve Otoprodüktör uygulamalarının, öncelikle bir önceki bölümde açıklanmış olan nedenlerden dolayı, özellikle sanayi şirketlerinde başlamış olması en fazla sanayi şirketlerinin bu nedenlerden etkilendiğinin ve aynı zamanda da ilgili kanun ve kararnamelerin onları kapsadığı gerçeğidir. Ancak, teknolojik olarak en gelişmiş sistemleri kullanan ABD’nin artık kojenerasyon uygulamalarının en küçük birimlerde bile kullanılmasını ilgili kanun ve yönetmeliklerle teşvik etmede olan kararlılığı kojenerasyon kullanımında büyük bir gelişme sağlamaktadır. Avrupa’daki uygulamalar da aynı ABD’de olduğu gibi gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve yatırım maliyetlerinin azalmasıyla birlikte sayıca hızla artmaktadır. Şekil 6’da Türkiye’deki Otoprodüktörlerin dağılımı görülmektedir.



Şekil-6: Türkiye'deki otoprodüktörlerin dağılımı

Kojenerasyonun Türkiye'deki yakın geleceği yeni kurulacak tesislerle birlikte daha geniş bir alana yayılarak uygulanmasıyla şekillenecektir. Yani ABD'de veya Avrupa'da nasıl yaygın olarak değişik sektörlerde kullanılıyorsa, ülkemizde de aynı uygulamaların kısa süre içerisinde gerçekleşeceğini göreceğiz. Zaten son 10 yıl içinde kojenerasyon ve otoprodüktörlüğün ülkemizde geldiği nokta, bundan sonra nerelere gidebileceğini bize açıkça göstermektedir. Şekil 7'de Otoprodüktör elektrik üretiminin toplam üretimdeki payı gösterilmektedir.



Şekil-7: Otoprodüktör üretimin toplam içindeki pay

Avrupa ve ABD'deki en küçük uygulamaları villalarda ve ufak tip meskenlerde 5 kW olarak, birkaç 5 kW'lık ünitenin paralel kullanımıyla da ufak boyutta binaların ve motellerin kojenerasyon sistemleriyle donatıldığını görmekteyiz. ABD'de ve Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanan bu sistem özellikle ticaret merkezlerinde, üniversitelerde,

otellerde, hastanelerde, seralarda ve benzeri mekanlarda bulunmaktadır. Bu tür sistemler paralel çalışan gaz türbin veya motor sistemlerinden oluşmakta olup, ihtiyaca uygun seçimlerle çeşitli büyüklükte ve adette ekipmandan oluşan gruplar meydana gelmektedir. Bu tür uygulamaların ülkemiz için kanun ve kararnamelerle belirlenmiş olan üst sınırı 1.500 kW'a kadar çıkabilmektedir. Bir üst sistem ise büyük boyutta ticaret merkezi, otel, hastane ve benzeri kuruluşlardan başlayarak sanayi kuruluşlarını da içine alan ve megawatt (MW) seviyesinden başlayan sistemleri kapsamaktadır. Bu tür kojenerasyon sistemleri 100 MW'lık sistemlere kadar yükselebilmektedir.

### **1.5. KOJENERASYON TESİSLERİNDEN NERELEDE VE NASIL YARARLANILIR?**

Kojenerasyon Tesisleri, en gelişmiş ticari enerji üretim sistemi olarak kentsel yerleşimler ve sanayi kesiminde birçok uygulama alanı bulmaktadırlar. Avrupa ülkelerinin çoğu kojenerasyon teknolojilerini birçok farklı projede kapsamlı olarak uygulamaktadırlar.

Kojenerasyon tesisleri bir çok yönden birbirlerinden ayrılırlar. Farklılığı esas olarak projede hangi ısı formundan yararlanılacağı belirler. Tesislerin kapasiteleri projeden projeye güç ve ısı ihtiyaç miktarına ve aynı zamanda bunların aralarındaki dengeye göre değişir. Tesisin kapasitesine ve elektrik ve ısı üretiminin dengesine bağlı olarak her proje için kullanılacak türbin/motor tipleri ve kapasiteleri farklılık gösterir.

Kojenerasyon Tesisleri (kısaca Kojen Tesisleri) birçok farklı sanayide uygulama olanağı bulurlar. Bu sanayilerin genellikle enerjiye aynı zamanda hem elektrik, hem de ısı olarak ihtiyaçları vardır. Kojen Tesislerinden yararlanan birçok sanayi kuruluşunun büyük miktarlarda doymuş veya kızgın buhar ihtiyaçları bulunmaktadır. Bu tip sanayilere örnek olarak petrol rafinerileri, petrokimya kompleksleri, kimya tesisleri, tekstil boyama tesisleri, kağıt ve selülöz işleme tesisleri, ağaç işleme tesisleri, gıda üretim tesisleri, gübre tesisleri, vs. verilebilir. Bazı sanayilerin üretim hatlarında ürün kurutma maksadı ile büyük miktarlarda sıcak havaya ihtiyaçları vardır. Bu tip sanayilere tuğla üretimi, seramik veya vitrifiye üretimi örnek gösterilebilir.

Kurutma veya ısıtma maksadı ile sürekli sıcak havaya ihtiyacı olan herhangi bir sanayi dalı Kojen Tesislerinden yararlanabilir. Gıda şoklama tesisleri, soğutma tesisleri veya et, balık,

tavuk veya sebze gibi gıdaların korunmasına yönelik büyük soğuk depolar gibi büyük miktarda soğuk havaya veya suya ihtiyacı olan bazı sanayiler absorpsiyon soğutuculardan yararlanabilirler. Absorpsiyon soğutucular (veya chillerler) asgari miktarda elektrik tüketerek kojen tesislerinde atık ısıdan üretilen buhar veya sıcak su vasıtasıyla soğuk su üretirler. Bu uygulama Trijenerasyon olarak ya da bazı tedarikçiler tarafından Kofrijiderasyon diye adlandırılmaktadır.

Kojen Tesisleri aynı zamanda kentsel yerleşimlerin ısıtma ve soğutma maksadı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Kent veya uydu yerleşimleri aynı zamanda hem elektrik hem de ısıya ihtiyaç duyarlar. Aynı zamanda bir güç ve ısı merkezi olan Kojen Tesisi tarafından bu yerleşim birimlerine hem elektrik temin edilebilir, hem de ayrı ayrı bu birimler kış döneminde ısıtılabilir ve yaz döneminde absorpsiyon soğutucularla soğutulabilir. Kojen Tesislerinden yararlanan diğer kentsel birimler hastaneler, oteller, hipermarketler, büyük ambar ve depolar, bankalar, üniversite kampusları ve 24 saat ısıtma soğutma havalandırma isteyen büyük yapılardır.

## **1.6. KOJEN TESİSİ NELERDEN OLUŞUR?**

Bir Kojen Tesisinin ana kısmını elektrik jeneratörünü döndüren sürücü motor oluşturur. Jeneratörü döndüren 3 farklı sürücü motor vardır, bunlar;

- Gaz türbini
- Gaz motoru
- Dizel motorudur

Bu farklı sürücü motorların herhangi bir modelinden esas olarak projenin ihtiyacı olan çıkış gücüne ve elektrik ile ısı dengesine bağlı olarak yararlanılır.

### **1.6.1. GAZ TÜRBİNİ**

Gaz Türbini bir rotor üzerine yerleştirilmiş açılı kanatlardan oluşan yüksek devirde döner tip bir makine olup büyük miktarda havayı sıkıştırıp besleyerek gaz veya sıvı yakıtı yakmak suretiyle elektrik jeneratörünü döndürmek üzere dönen bu rotordan büyük güç elde etmektedir. Gaz Türbini büyük miktarlarda yüksek sıcaklıkta egzost gazı deşarj eder, bu

gazlardan bir atık ısı kazanı vasıtasıyla suyu ısıtarak buhar elde edilir. Gaz Türbinleri genelde 5,500 kW üstü güç ihtiyacında tercih edilirler. Gaz Türbininin ısıl randımanına bağlı olarak egzost gazlarından ısı üretimi çıkış gücünün 2.5 –3 katı miktarındadır.

### **1.6.2. GAZ MOTORU**

Gaz Motoru düşük devirli Otto çevrimli çok silindri 50 ile 3,500 kW gücü aralığında pistonlu makinelerdir. Isı çıkışı genellikle güç çıkışının 1 ile 1.5 katıdır.

Gaz Motorlarından faydalı ısı, soğutma eşanjörleri, motor blok soğutma suyu ve egzost gazı eşanjörleri ile geri kazanılır.

Gaz Motorları yakıt olarak Doğal Gaz, Propan veya Biogazdan yararlanır. Düşük seviyelerde azot oksit emisyonu nedeniyle çevre dostudur.

### **1.6.3. DİZEL MOTORLARI**

Dizel motorlarından da aynı şekilde kojenerasyon maksadı ile yararlanır. Bu üniteler çok silindri olup 500 ile 22.000 kW çıkış gücündedirler. Dizel motorları motorin ve ağır fuel oil yakıtlarını kullanırlar. Elektrik üretim verimi yüksek olup diğer taraftan atık ısı üretimi görel olarak düşüktür ve genellikle güç çıkışına eşittir.

### **1.6.4. ATIK ISI GERİ KAZANIM**

Kojen tesisinin ikinci önemli kısmı projeye bağlı olarak çeşitli tipte ısı eşanjörlerinin kullanıldığı atık ısı geri kazanımıdır. Yaralanılacak ısının türüne göre atık ısının türüne göre atık ısıyı geri kazanacak ekipman genel olarak Atık Isı Buhar Kazanı olarak isimlendirilir. Bunlar gaz turbinlerinin, gaz motorlarının ve dizel motorların egzost çıkışlarına tesis edilirler ve doğrudan egzost gazları ile suyu ısıtarak doymuş veya kızgın buhar üretirler. Sıcak egzost gazları doğrudan veya sıcak hava eşanjörleri ile kurutma ve ısıtma işlemleri için kullanılabilir. Gaz ve dizel motorları aynı zamanda motor blok soğutma ve eşanjörler vasıtasıyla büyük miktarlarda sıcak su üretirler. İşte bu şekilde Kojen tesisleri toplam %90 gibi çok yüksek bir ısıl verimle aynı zamanda elektrik ve ısı üretirler.

## 1.7. KOJEN TESİSLERİ İÇİN YAKIT SEÇENEKLERİ

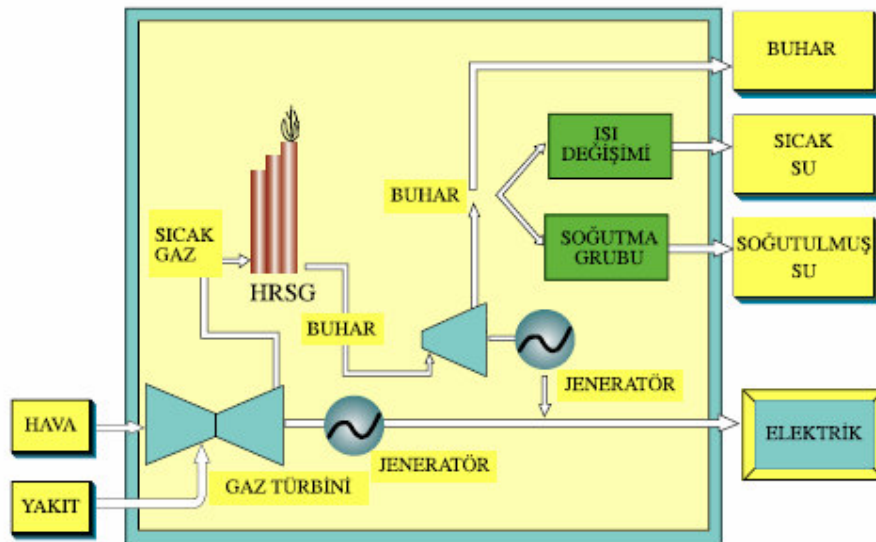
Kojen tesislerini işletmek için esas olarak gaz ve sıvı olmak üzere çeşitli yakıtlar kullanılır. Kullanılacak yakıtlar kullanılacak motor türüne göre farklılık gösterir. Gaz türbinleri, doğalgaz, butan, propan veya LPG karışımı gibi gaz yakıtlar ve motorin, nafta, fuel oil gibi sıvı petrol ürünleri yakılabilir. Gaz motorları yalnız gaz yakıtlardan yararlanırlar, tercihen doğalgaz, propan veya biogaz. Dizel motorları genellikle motorin, fuel oil gibi yalnız sıvı yakıt kullanırlar, ancak doğalgaz veya sıvı yakıt yakan çift yakıtlı motorlar da artık dizayn edilmektedir.

Proje sahipleri gerek temin kolaylığını gerek fiyatını değerlendirerek projeleri için en uygun yakıtı seçeceklerdir, çünkü kojenerasyon tesislerinin ekonomik olarak işletilmesinde yakıt girdisi en önemli husustur.

## 2. TRİJENERASYON

Trijenerasyon, kojenerasyon teknolojisinin daha verimli bir şekilde kullanılması yönünde gelişen bir uygulama şeklidir. Kojenerasyon sistemleri, gaz türbinleri veya dizel motorları gibi verilen yakıtın yakılmasıyla açığa çıkan enerjiyi shaft gücüne çeviren makinalarla, elektrik ve ısı enerjisinin aynı kaynaktan üretimini sağlayabilen sistemlerdir. Trijenerasyon da, bu sistemlere soğutma etkisinin katılması olarak tanımlanır.

İlk trijenerasyon, 1980'lerin başında Amerika'da uygulanmıştır. Bu teknoloji sayesinde ısı ihtiyacı yanında soğutma talebi de olan tesis ve binalarda, özellikle sanayi uygulamalarında, çok esnek ve taleplere cevap verebilecek bir çözüm elde edilebilmektedir. Kojenerasyon tesislerine, çeşitli şekillerde sistemler eklenerek trijenerasyon sağlanabilir. Bunlardan ilki, tesislerden atılan ısıyı geri kazanım şeklinde alıp bir absorpsiyonlu soğutma sistemine vererek soğutulmuş su elde etme uygulamasıdır. İkinci olarak da, buhar sıkıştırılmalı bir çevrim ile soğutulmuş su sağlanmasıdır ve bu soğutma için ihtiyaç duyulan shaft gücünün direk olarak motordan veya türbinden elde edilmesi yöntemi ile sistemler birleştirilebilir. Diğer bir yöntem ise tamamen dönen kısımlardan bağımsız, elektrik ile çalışan bir buhar sıkıştırılmalı konvansiyonel makina ile soğutma sağlanmasıdır. Bu yöntemler içinde en verimli ve en çok uygulaması olan, absorpsiyonlu soğutma sistemidir.



Şekil-8: Trijenerasyon

Trijenerasyonun dünyada çok çeşitli uygulamaları vardır. Bunlardan biri Southampton 'da kurulu olan ve 1999 yılında bu konuda ödül alan trijenerasyon tesisidir. Trijenerasyon

şehirdeki ev ve iş yerlerine elektrik ısı ve soğutma ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde hizmet vermektedir. Isı ve güç üretiminde 7 MW lık ünite ısı kaynağı olarak jeotermal enerji kaynaklarını kullanmakta, 5.9 MW'lık ünite ise yakıt ile çalışmaktadır. Absorpsiyonlu sistem ile soğutma yapan bu tesise, soğutma kısmı 1998 yılında eklenmiştir. Diğer bir uygulama Avustralya'da, University of Western Sydney'in Nepean kampüsünde bulunan trijenerasyon tesisidir. Tesis, 680 kW elektrik ihtiyacı olan kampüse 1 MW elektrik sağlamakta, 1.532 MW ısıyı sıcak su boilerine vermekte ve 1MW soğutma sağlayabilmektedir. Sistem 80°C 'de sıcak su sağlayabilmekte ve maksimum 10°C sıcaklık farkıyla suyu geri alabilmektedir. Son yıllarda Türkiye'de doğalgaz kullanımındaki artışla birlikte, doğalgazdan elektrik ve ısı üretimi yapan kojenerasyon sistemleri popüler hale gelmişlerdir. Halen çalışmakta olan birçok sistemin yanında inşası devam eden tesisler de mevcuttur. Bu tip bir tesiste trijenerasyon uygulamasının nasıl olabileceğini ortaya koymak amacıyla, İstanbul'da bulunan, elektrik ve bölgesel ısı üretimi yapan Esenyurt Kojenerasyon Enerji Santrali esas alınarak, absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanımlı bu çalışma yapılmıştır. Soğutma için bir sistem tasarlanması amacıyla soğutma yükü belirlenmiştir. Bu soğutma yükü belirlenirken pilot bir bölge göz önüne alınmıştır. Daha sonraki aşamalarda kojenerasyon ve absorpsiyonlu sistemler araştırılmış, uygulanabilecek sistemler, verimleri hesaplamalarla ortaya konmuştur.

Esenyurt Kojenerasyon Enerji Santrali, İstanbul'un Esenyurt İlçesinde kurulu, bölgenin elektrik ihtiyacını ve ısıl gereksinimlerini karşılayacak bir sistem uygulanmasıdır. Sistem, 180 MW elektrik ve 180 MW ısı enerjisi üretmektedir. Tesis bölgesel ısıtma amacına yönelik olması dolayısıyla 30.000 konutun ısı ihtiyacını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Elde edilen elektrik enerjisi de şehir elektrik şebekesine sağlanmaktadır. Otoprodüktörlük modeliyle kurulan santralin maliyeti 180 milyon dolardır. Kojenerasyon santrali, Amerikan ve Hollanda ortaklıdır.

### 3. ABSORPSİYONLU (YUTMALI) SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Jeotermal ısı kaynakları, güneş enerjisi ve çeşitli endüstriyel faaliyetler sonucu açığa çıkan atık ısı enerjisini kullanarak soğutma yapabilmesi en önemli özelliği olarak göze çarpan absorpsiyonlu soğutma makinaları çok çeşitli alanlarda soğutma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Özellikle enerjinin pahalı olduğu ve ekonomik kullanımın öne çıktığı günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının ve atık ısıların değerlendirilmesi bakımından bu tip soğutma ve ısıtma makinalarına olan ilgi ve yönelim giderek artmaktadır. Genel olarak ısı pompalarında ve soğutma makinalarında buhar sıkıştırmalı veya absorpsiyonlu çevrimler kullanılır. Elektrik enerjisini buhar sıkıştırmalı çevrime göre çok daha az kullanan absorpsiyonlu çevrimde, soğutucu akışkan olarak soğurucu ve soğutucu akışkandan oluşan akışkan çifti kullanılır. Buhar sıkıştırmalı çevrimde yer alan kompresörün kullandığından çok daha az elektrik harcayarak (sadece pompa işi için elektrik gereklidir), aynı işlev yerine getirilebilmektedir.

Absorpsiyonlu sistemler, düşük atık ısı enerjili tek etkili, direk yakmalı ya da yüksek ısı enerjili buhar veya atık ısı kullanan çift etkili sistemler olmak üzere ana iki grupta toplanırlar. Ticari makinalarda gerçek çevrimlerde, çift etkili olan sistemlerde atık ısı kullananlar için, soğutma kapasitesinin verilen enerjiye oranı olarak tanımlanan STK 0.9-1.1 arasında, direk yanmalı olanlar için ise 1-1.2 arasında değişmektedir. Tek etkili sistemlerde genel olarak STK 0.6-0.7 arasında değişmektedir.

Absorpsiyonlu soğutma çevrimleri, birinci ve ikinci olarak adlandırılan, iki farklı akışkanla ve ısı enerjisi ile çalışan sistemlerdir. Buharlaştırıcıda buharlaşan gaz birinci akışkan olup, soğutucu görevi yapmaktadır, bu akışkanın çevrimi gerçekleştirebilmesi için ikinci bir akışkan tarafından yutulması (absorbe edilmesi) gerekir.

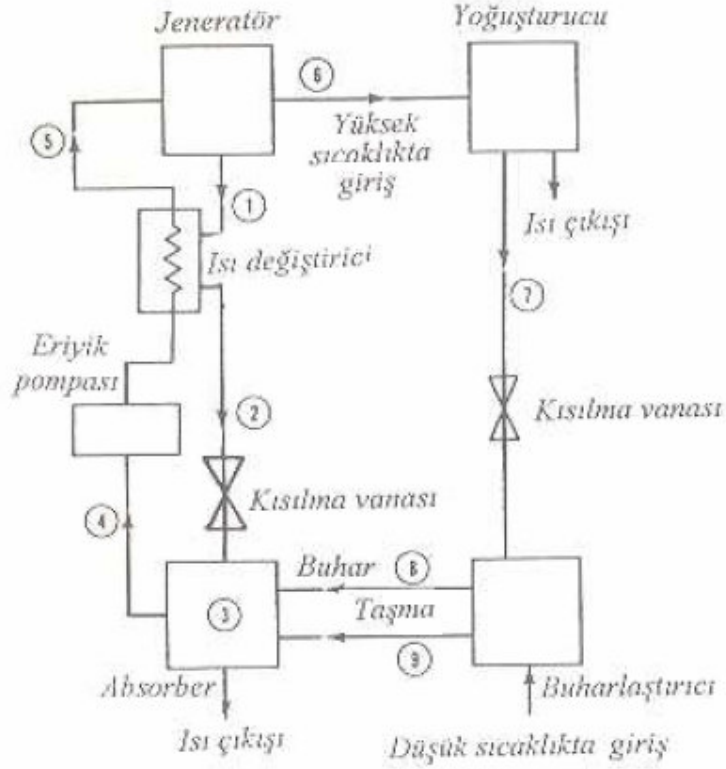
Tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimlerinde, alçak basınçtaki soğutucu akışkan buharı, yine alçak basınçta sıvı fazına (eriyiğe) dönüştürülür. Bu dönüşüm, yutucu (absorban) adı verilen ikinci bir akışkan tarafından gerçekleştirilebilir. Absorpsiyon işlemi, karışabilen maddelerin birbiriyle karışabilme özelliği ve genel olarak soğutucu akışkan ile yutucu madde molekülleri arasındaki birleşme eğilimi nedeni ile meydana gelir. Absorpsiyon işlemi

esnasında açığa çıkan ısı enerjisi, bir kaynak tarafından alınmalıdır. İşlem esnasında çıkan bu enerji de yoğuşma, duyulur ve seyreltilme ısılarından meydana gelir.

Soğutucu akışkan-yutucu eriyiğinin basıncı, bir eriyik pompası yardımı ile artırılır ve bir ısı değiştiriciden geçirilerek, jeneratöre gönderilir. Damıtma (distilasyon) işlemi ile rejenerasyonun yapıldığı bu jeneratörde, soğutucu akışkan ile yutucu birbirinden ayrılır. Sülityum bromid sisteminde olduğu gibi, saf yutucu maddenin buharlaşmayan bir madde olması hali, basit bir damıtma işlemindeki ayrılma için yeterlidir. Buna karşılık, amonyak – su sisteminde olduğu gibi, saf yutucu maddenin buharlaşabilen bir madde olması halinde , parçalı bir damıtma cihazına gerek vardır. Buharlaştırıcı içindeki soğutucu akışkan, yutucu maddeden tam olarak ayrılmış halde değildir.

Rejenerasyon yapılmış yutucu madde, normal olarak bir miktar soğutucu akışkan içerir. Sülityum bromid sisteminde olduğu gibi, yutucu madde katılaşmaya meyleder ise, her zaman çözünür halde yutucu maddeyi tutabilmek için , yeterli soğutucu akışkan mevcut olmalıdır. Bazı pratik yöntemler ile, özellikle jeneratör içinde yüksek sıcaklıklardan sakınılarak rejenere edilmiş yutucu içinde istenilen miktarda soğutucu akışkan bırakılabilir.

Suyun soğutucu akışkan, lityum bromid ve su çözeltisinin yutucu olarak kullanıldığı, tek kademeli bir absorpsiyon çevrimi şeması, şekil-19 da verilmiştir. Şekil-20 de ise bu çevrimin basınç–sıcaklık diagramındaki değişim görülmektedir. Bu devredeki karakteristik değişimler aşağıda sunulmuştur.



Şekil-9: Lityum bromid-su eriyikli tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimi

*1 – 2 Değişimi* : Sıcak ve yüksek derişikteki (1) ile gösterilen eriyik, yoğuşturucu basıncında jeneratörden çıkar. Bu eriyik, absorberden gelen eriyik ile bir ısı değiştiricide soğutularak, (2) noktasında kısılarak absorbere gönderilir.

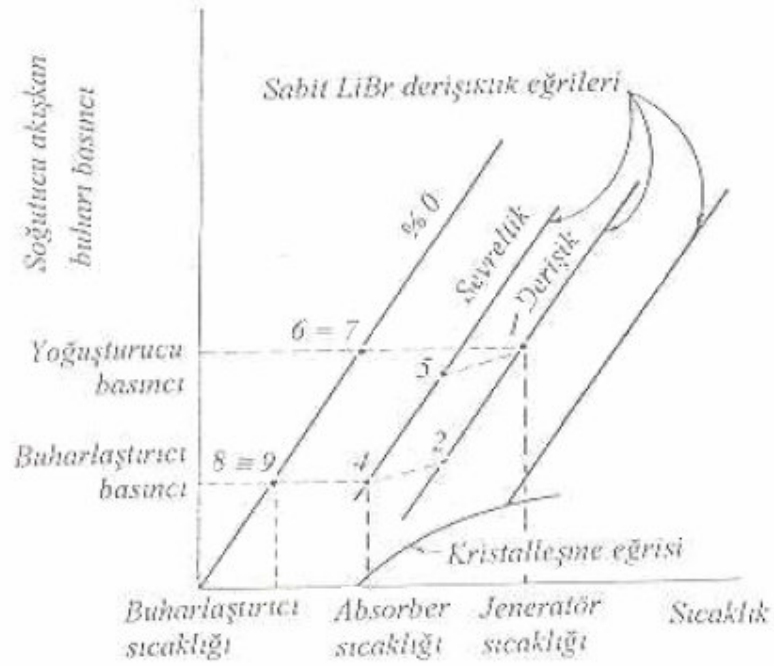
*2 – 4 Değişimi* : Soğuk ve yüksek derişikteki (2) ile gösterilen eriyik, absorber içinde buharlaşma basıncı ile aynı olan düşük bir basınçta, (8 ve 9) ile gösterilen soğutucu akışkanı absorbe eder.

*4 – 5 Değişimi* : (4) ile gösterilen eriyik, ısı değiştiricide (5) noktasına kadar ısıtıldıktan sonra jeneratöre pompalanır.

*5 – 1 Değişimi* : (5) noktasında sıcak ve seyreltik olarak jeneratöre giren eriyik, burada ısı ilavesi ile soğutucu akışkanı damıtır. Soğutucu akışkan (6) noktasında jeneratörden çıkarken, sıcak ve yüksek derişikteki eriyik ise jeneratörü (1) noktasında terk eder.

6 – 7 Değişimi : Sıcak ve yüksek basınçta (6) noktasında yoğuşturucuya giren soğutucu akışkan buharları, yoğuşarak bu elemandan (7) noktasında çıkar.

7 – 8 Değişimi : Sıcak sıvı fazındaki soğutucu akışkan bir kısılma vanasından geçirilerek düşük basınçta buharlaştırıcıya gönderilir. Buharlaştırıcıda soğutulan ortamdaki ısı ile buharlaşan soğutucu ortam burayı soğutur. Soğuk ve düşük basınçta (8) noktasındaki soğutucu akışkan buharları, (3) ile gösterilen absorber içinde eriyik tarafından absorbe edilir.



Şekil-10: Lityum bromid-su eriyikli tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevriminin basınç-sıcaklık diagramı

### 3.1. PRATİK ABSORBSİYONLU SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ

Duyulur ısı geçişleri, eriyiğin ısınmasının ve absorbe edici akışkanın buharlaşma karakteristiklerinin neden olduğu olumsuz etkiler, çoğu zaman tek kademeli absorbsiyonlu soğutma çevrimlerinde göz önüne alınmalıdır. Jeneratörden absorbere taşınan sıcak absorbe edici akışkan, bir miktar ısıl enerjinin kaybına neden olur.

Kullanılan bir sıvı – sıvı tipi ısı değiştiricisi, jeneratörden çıkan absorbe edici akışkandaki bu ısı enerjisinin önemli bir kısmının, jeneratöre geri dönen eriyiğe geçerek bir ısı kazancı sağlamasına yardımcı olur.

Tek kademeli absorbsiyonlu soğutma çevriminde yapılacak düzeltmeler, bu sistemin performans katsayısını birden büyük yapamaz. Başka bir deyişle,soğutucu akışkanın birim kütlesinin üretimi için jeneratörde kullanılan ısı, soğutucu akışkanın birim kütlesinin buharlaştırıcıda, buharlaşırken çevreden aldığı ısıdan fazla olamaz. İstenirse çift etkili buharlaştırıcı ve çift etkili jeneratör prensipleri kullanılarak, sistemin performansı bir miktar artırılabilir. Su – lityum bromid çiftinde, biri dışarıdan ısı enerjisi ile çalışan yüksek sıcaklık basınçta jeneratör, diğeri bu jeneratörden çıkan yoğuşma ısısı ile çalışan diğeri bir jeneratör. Olmak üzere, sistemde iki jeneratör kullanılır. Her iki jeneratörden çıkan soğutucu akışkan buharlaştırıcıya gönderilir.

### 3.2. SOĞUTUCU AKIŞKAN – ABSORBE EDİCİ ÇİFTİNİN KARAKTERİSTİKLERİ

Soğutucu akışkan ve absorbe edici çiftinde oluşan bir absorbsiyonlu soğutma sistemi için aşağıdaki şartların yerine getirilmesi gerekir.

1. Katı Fazın Olmaması: Göz önüne alınan sıcaklık ve deirişiklik aralıklarında, hiçbir zaman soğutucu akışkan – absorbe edici çifti katı fazda olmamalıdır. Her hangi bir yerde katılaşma olduğu takdirde, burada akış duracağından buradaki cihazın devre dışı kalmasına neden olacaktır.

2. Buharlaşma Oranı: Soğutucu akışkan, absorbe ediciye göre çok daha kolayca buharlaşabilmelidir. Bu şekilde iki akışkan kolaylıkla birbirinden ayrılabilir.

3. Birleşme Eğilimi: Absorbe edici, absorbsiyonun olduğu şartlarda soğutucu akışkan ile kuvvetli bir birleşme eğiliminde olmalıdır. Bu eğilim:

a. Raoult kanunundan negatif bir sapmaya neden olur ve bunun sonucunda soğutucu akışkan için aktivite katsayısını bir değerinin altına düşürür,

b. Sistemde devreden absorbe edici miktarını azaltır ve sonuçta duyulur ısı etkilerinden enerji kaybını azaltır.

c. Isı değıştirci boyutlarını küçültür.

Jacop, Albright ve Tucker tarafından yapılan hesaplarda, kuvvetli birleşme eğilimin de sakıncaları olabildiği gösterilmiştir. Seyreltik eriyiklerde bu eğilimin olması, jeneratörde absorbe edici ile soğutucu akışkanın birbirinden ayrılması için ilave ısıya gerek duyulur.

4. Basınç: Sistemdeki işletme basınçları normal seviyelerde olmalıdır. Yüksek basınçlar kalın cidarlı cihazlar gerektirir ve akışkanın pompalanması için önemli elektrik enerjisine ihtiyaç doğurur. Alçak basınçlar (vakum) ise büyük hacimli cihazları ve soğutucu akışkan buharlarının basınç düşümü için özel elemanları gerektirir.

5. Kararlılık: Sistemdeki akışkanların yıllarca görev yapabilmesi ve zamanla özelliklerinin değişmemeleri için, devrede kullanılan akışkanların hemen hemen mutlak anlamda kararlı olması istenir.

6. Korozyon: Kararsızlık sonucunda akışkanlar veya çeşitli maddeler, konstrüksiyonda kullanılan malzemeleri aşındırabilir. Olumsuz etkileri azaltmak için devrede korozyon önleyici maddeler kullanılmalıdır.

7. Emniyet: Konutlarda kullanılan soğutma devrelerindeki akışkanlar, zehirsiz ve de yanmaz olmalıdır. Endüstriyel kullanımlarda bu şart, fazla önemli değildir.

8. Taşınım Özellikleri: Soğutucu akışkanın ve absorbe edicinin vizkozite, yüzey gerilme, ısı yayılım ve difüzyon (yayılm) katsayıları önemli karakteristik özellikleridir. Örnek olarak, akışkanın düşük vizkoziteye sahip olması, ısı ve kütle geçişini iyileştirirken, pompalama problemlerini azaltır.

9. Gizli Buharlaşma Isısı: Devrede dolaşan soğutucu akışkan ve absorbe edici miktarının en az değerde olabilmesi için, soğutucu akışkanın gizli buharlaşma ısısı büyük olmalıdır.

Burada sıralanan bütün istekleri gerçekleştiren bir soğutucu akışkan – absorbe edici çiftini pratikte bulmak mümkün değildir. Amonyak – su ve su – lityum bromid çiftleri bu istekleri belirli şartlarda yerine getirdiklerinden ticari olarak çok kullanılır.

Amonyak – su çifti birçok isteği karşılmasına rağmen, buharlaşma oranı çok küçük ve çalışma basıncı oldukça yüksektir. Ayrıca amonyağın bina içi kullanımları için sınırlamalar vardır.

Su – lityum bromid çiftinin üstünlükleri; yüksek emniyet büyük buharlaşma oranı, büyük birleşme eğilimi, büyük kararlılık ve büyük gizli buharlaşma ısısı olarak sayılabilir. Bununla beraber bu çift; katılaşmaya meyillidir. Soğutucu akışkan, 0°C sıcaklıkta buz haline dönüştüğünden, bu çift düşük sıcaklıklardaki soğutma için kullanılmaz. Absorberde özellikle hava ile soğutma veya bazı sınırlı uygulamalarda ise su ile soğutma kullanılıyorsa, orta derişiklerde lityum bromid kristalleşir. Bununla beraber, absorbe edici için bazı tuz karışımları kullanmak, hava ile soğutma halinde kristalleşme tehlikesini azaltabilir. Su – lityum bromid çiftinin diğer sakıncaları ise, bu çiftin düşük çalışma basınçları gerektirmesi ve bu basınçlarda, lityum bromid eriyiğinin vizkositesinin büyük olmasıdır. Pratikte uygun ciha dizaynları kullanılarak, bu sakıncalar yok edilebilir. Diğer bazı önemli soğutucu akışkan – absorbe edici çiftleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Amonyak - çeşitli tuzlar
2. Metil amin –çeşitli tuzlar
3. Alkoller – çeşitli tuzlar
4. Amonyak – çeşitli organik çözücüler
5. Kükürt dioksit - çeşitli organik çözücüler
6. Halojenize edilmiş hidrokarbonlar –çeşitli organik çözücüler

Bu çiftlerden birkaçı, nispeten basit çevrimler için uygun olup, su - lityum bromid çiftinde görülen kristalizasyon problemi bu çiftlerde yoktur. Henüz bu çiftlerin çoğu hakkında kararlılık ve korozyon bilgileri yetersizdir. Bununla beraber, fluorosoğutucu akışkanlar dışındaki diğer soğutucu akışkanların bir miktar zararlı olduğu bilinmektedir. Karşılaşılabilen

bazı problemler, korozyon giderici, kristalleşmeyi önleyici veya ısı geçişini artıracı katkı maddeleri ile çözülebilir.

### 3.3. TERMODİNAMİK ANALİZ

Termodinamiğin birinci kanunu analizi, yeni soğutucu akışkan – absorbe edici çiftlerinin araştırılmasında, çevrimlerin performansının iyileştirilmesinde, işletme şartlarının etkilerinin belirlenmesinde gereklidir. Aşağıda su – lityum bromid ve amonyak – su çiftleri ile çalışan absorpsiyonlu soğutma makinelerine ait iki örnek verilmiştir.

Termodinamiğin ikinci kanun analizi ise çevrimdeki her bir işlemin, tesinmezlik değerinin bulunuşu için gereklidir. Bu tip analiz için “kullanılabilirlik” kavramı göz önüne alınmalıdır. Kinetik ve potansiyel enerjilerin ihmal edildiği durumlarda, bir sistem için kullanılabilirlik

$$B = h - h_o - T_o (s - s_o)$$

şeklinde hesaplanır. Bu bağıntıda

- B = birim kütle için kullanılabilirlik
- h = entalpi
- h<sub>o</sub> = ortam şartlarındaki entalpi
- T<sub>o</sub> = ortamın mutlak sıcaklığı
- s = entropi
- s<sub>o</sub> = ortam şartlarındaki entropi

anlamındadır. Absorpsiyonlu soğutma makinelerine ikinci kanun uygulaması, en büyük kullanılabilirlik kaybının jeneratörde olduğunu vermektedir.

### 3.4. SU – LİTYUM BROMİD ABSORPSİYONLU SOĞUTMA MAKİNALARI

Şekil-19 göz önüne alındığında, buharlaştırıcıdaki soğutucuda akışkan debisi için

$$RE = Q_E / (h_v - h_l)$$

eşitliği yazılabilir. Bu eşitlikte;

$RE$  = buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan kütleli debisi,

$QE$  = buharlaştırıcı soğutma yükü

$H_v$  = buharlaştırıcı çıkışında soğutucu akışkan buharının entalpisi,

$H_l$  = yoğuşturucudan gelen sıvı soğutucu akışkanın entalpisi

anlamındadır. Diğer taraftan, absorberden çıkan seyreltik soğutucu akışkan miktarından, jeneratörden gelen zengin karışım miktarının çıkarılması, göz önüne alınan soğutucu birim kütleli eşit olduğundan

$$RAX - RG(X - 1) = 1$$

yazılabilir. Bu eşitlikte ise;

$RA$  = absorberden çıkan eriyik içindeki soğutucu akışkan kütleli oranı

$RG$  = jeneratörden çıkan eriyik içindeki soğutucu akışkan kütleli oranı

$X$  = absorberden çıkan eriyik kütleli birim soğutucu akışkan kütleli oranı

$X - 1$  = jeneratörden çıkan eriyik kütleli birim soğutucu akışkan kütleli oranı

$1$  = soğutucu akışkan birim kütleli anlamındadır. Bu eşitlik

$$(1 - WFS_A)X - (1 - WFS_G)(X - 1) = 1$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir. Burada;

$WFS_A$  = absorberden çıkan eriyikteki lityum bromid kütleli oranı

$WFS_G$  = jeneratörden çıkan eriyikteki lityum bromid kütleli oranı

anlamındadır. Lityum bromid derişikleri

$$WFS_A = 0,589$$

$$WFS_G = 0,650$$

değerlerinde alındığında,

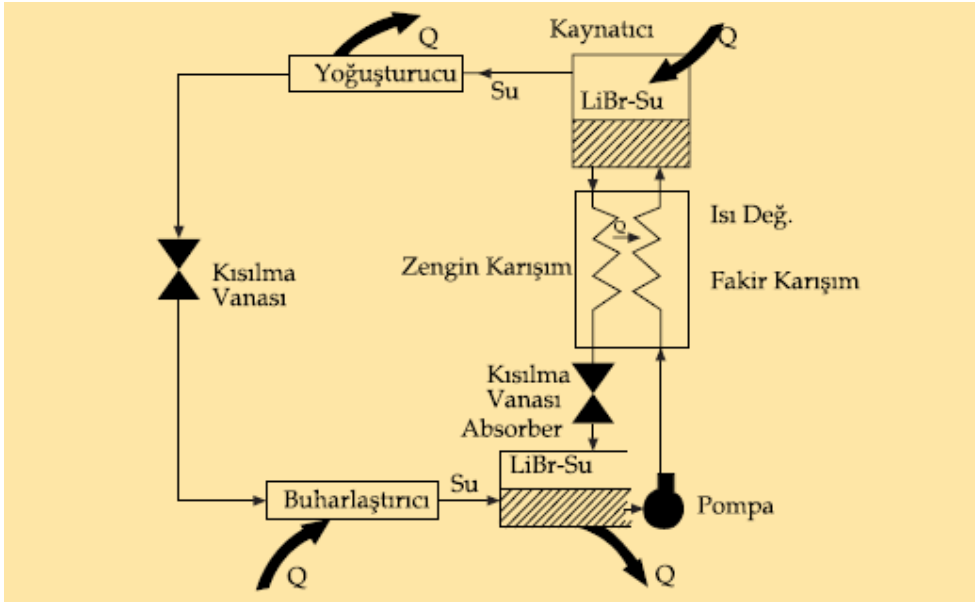
$$(1 - 0,595)X - (1 - 0,646)(X - 1) = 1$$

$$0,405X - 0,354(X - 1) = 1$$

$$X = 12,67$$

değerini verir.

Şekil-21 'de lityumbromür-su ile çalışan bir absorpsiyonlu soğutma sistemi görülmektedir. Sistemde dolaşan soğutucu akışkan buharlaştırıcıya sıvı olarak girer ve burada doymuş buhar haline geçer. Bu esnada hal değişimi için gerekli ısıyı çevreden alır, böyle soğutma etkisi sağlanmış olur ve çevre sıcaklığı düşürülür. Doymuş buhar halindeki soğutucu akışkan buradan absorbere geçer ve burada kaynatıcıdan gelen zengin karışımla (soğurucu bakımından zengin) birleşir, yani soğurur. Bu işlem sırasında absorberden ısı çekilerek ekzotermik olan bu reaksiyonun etkisi, dolayısıyla soğutucu akışkanın soğurulma miktarı artırılır.



Şekil- 11: LiBr-Su absorpsiyonlu soğutma çevrimi

Absorberden çıkan ve fakir hale gelen karışım (soğurucu bakımından fakir) bir pompa tarafından basıncı yükseltilecek kaynatıcıya doğru gönderilir. Kaynatıcıya giderken de ısı değiştiricisinden geçerek bir miktar ısı alır ve sıcaklığı artar. Daha sonra kaynatıcıya giren karışımın, dışarıdan verilen ısı enerjisi etkisi ile sıcaklığı artar ve soğutucu akışkan buharlaşarak karışımdan ayrılır. Soğurucu bakımından zengin hale gelen karışım kaynatıcıdan çıkarak absorbere geri döner, bu sırada kaynatıcıya gitmekte olan fakir karışıma ısı değiştiricisinden geçerek ısı verir. Buharlaşarak karışımdan ayrılan soğutucu akışkan ise yoğuşturucuya girer ve hal değiştirerek doymuş sıvı halinde yoğuşturucudan çıkar. Bu işlem

sırasında çevreye ısı atılır. Yüksek basınca sahip olan bu duymuş sıvı akışkan kısılma vanasından geçerek düşük basınca genişler ve tekrar buharlaştırıcı girişine gelmiş olur. Kayıplar ihmal edilirse yoğuşturucu basıncı soğutucu akışkanın yoğuşma basıncı, buharlaşma basıncı da akışkanın buharlaşma basıncıdır.

## 4. KOJENERASYON'A ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ UYGULANMASI VE ANALİZİ

### 4.1. SİSTEMİN TASARIMI

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin en uygun ve ekonomik kullanım yerlerinden biri kojenerasyon için uygulanmalarıdır. Bu enerji santrallerinden çevreye atılan atık ısının absorpsiyonlu sistemlere ısı girdisi olarak sağlanması ile soğutma ihtiyacı olan yerlere yönelik bir kullanım mümkün olmaktadır. Soğutma işlemi aynen bölgesel ısıtmada olduğu gibi kullanılabilir veya farklı soğutma ihtiyaçları için dizayn edilerek uygulanabilir. Bilindiği gibi dışarıdan bir enerji gereksimi olmadığı ve az bir elektrik tükettiği için aynı zamanda ekonomik olarak da uygun bir kullanım olduğu açıktır. Yaz aylarında bölgesel ısıtma ihtiyacının genelde olmaması sebebiyle kojenerasyon santrallerinden kullanılmadan atılan ısı daha da artmaktadır. Bu sistemin verimliliğinin düşmesine ve sadece tek yönlü üretim yapılması sonucunu doğurmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma kullanılması, hem üretim şeklinin fazlaşması hem de sistemin veriminin düşmemesi açısından da kullanışlı olmaktadır.

Bölgesel ısıtma hizmeti veren Esenyurt Kojenerasyon Santralinde de 180 MW ısı üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu ısı üretiminin yaklaşık 120 MW 'lık kısmı her çalışma şartında çevreye ısı olarak verilmektedir. Tesiste kullanılan kombine çevrim kapsamın da atık ısı, gaz türbini çevriminde bacalardan, buhar türbini çevriminde ise hava soğutmalı yoğuşturucudan (ACC) çevreye verilmektedir. Absorpsiyonlu soğutma sistemi için gerekli ısının ACC'den sağlanması tasarlanmıştır.

Atık ısı kullanımı için buhar çevrimi sonunda oluşan yoğuşma işleminin çalışma şartları incelenmiştir. Buhar yaz çalışma şartlarında 65.7°C sıcaklık ve 0.18 bar basınçta yoğuşmaktadır. Bu kaynakla nasıl bir absorpsiyonlu sistem kullanılabileceği araştırılmış ve düşük basınçlı buhar kaynakları için tek etkili sistemlerin uygun olduğu görülmüştür. Bölgesel soğutma yapılacak bölgede, soğutulacak yerler 3 katlı 90 blok olarak belirlenmiş (pilot bölge) ve proje çerçevesinde bir kat için hesap yapıp toplam soğutma yükü belirlenmiştir. Tek bir kat soğutma yükü 22998 W olarak bulunmuştur. Sistemin sağlaması gereken soğutma etkisi göz önüne alınan binalar için toplam 6.217 MW olarak hesaplanmıştır. Böylece absorpsiyonlu soğutma sisteminin buharlaştırıcı yükü de belli olmuştur.

## 4.2. TEK ETKİLİ SİSTEMİN ANALİZİ

### Notasyon Listesi

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| T          | Sıcaklık                |
| X          | Değişim                 |
| STK        | Soğutma Tesir Katsayısı |
| Q          | Geçen Isı Miktarı       |
| H          | Entalpi                 |
| m          | Kütle                   |
| P          | Basınç                  |
| S          | Entropi                 |
| $\Phi$     | Kullanılabilirlik       |
| $\epsilon$ | İkinci Kanun Verimi     |

### Alt İndisler:

|    |                   |
|----|-------------------|
| b  | Buharlaştırıcı    |
| k  | Kaynatıcı         |
| yo | Yoğuşturucu       |
| a  | Absorber          |
| IE | Isı değiştiricisi |

Öncelikle, tasarlanan sistem için uygun soğutucu akışkan seçimi, aynı çalışma şartlarında karşılaştırmalı bir STK incelemesiyle ile yapılmıştır. Bunun haricinde başka kriterler de göz önüne alınmıştır. Yüksek kapasitede bir soğutma ihtiyacı olması ve buharlaştırıcı sıcaklıklarının uygun olması sebebiyle hesap yapmadan da lityumbromür-su çiftinin sistemimiz için uygun olduğu söylenebilir. Sistemde kullanılmak üzere soğutucu akışkan seçimi yapılırken üç farklı akışkan çifti için STK'lar hesaplanmış ve değerler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, her üçü için de, 60°C kaynatıcı sıcaklığı, 30°C absorber sıcaklığı, 20°C yoğuşturucu sıcaklığı ve 4°C buharlaştırıcı sıcaklığı esas alınarak yapılmıştır. Bu değerler tasarlanacak sistemin dizayn değerlerine çok yakın değerlerdir. Günümüzde kullanımı en yaygın olan soğutucu akışkan çiftleri, lityumbromür-su ve su-amonyak akışkanlarıdır.

Bu akışkanlara alternatif, iyi performanslar sağlayabilecek soğutucu akışkanlar da vardır. Bunlardan biri sucarrol orjinal isimli lityumbromür-etilen glikol soğutucu akışkan çiftidir. Hesaplar sonucunda, sistemimiz için en uygun olan ve en yüksek STK değerini verecek olan akışkan lityumbromür-su akışkan çifti olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler Tablo-1 'de verilmiştir. Soğutucu akışkanın seçilmesi ardından tasarımı yapılması düşünülen absorpsiyonlu sistem için modelleme yapılmış ve yapılacak hesaplarda girdiler, kabuller gibi ana noktalar ortaya konmuştur. Absorpsiyonlu soğutma sistemi ile yaratılacak soğutma etkisi soğutma yükü hesabı ile 6127 kW olarak daha önce belirlenmişti. Aynı şekilde soğutulacak su sıcaklığı da ticari uygulamalar baz alınarak 7°C ile binalara gönderiliş ve 12°C binalardan dönüş olarak belirlenmiştir. Bu bilgilerden yararlanarak buharlaştırıcı sıcaklığı 5°C alınmıştır. Kaynatıcı için gerekli ısı kaynağının yaz şartlarında 65.7°C 'de buhar olması dolayısıyla, kaynatıcı sıcaklığı da 10°C sıcaklık farkıyla 55.7°C alınmıştır.

Tek etkili sistem analizi yapılırken termodinamiğin birinci kanunu açısından inceleme yapılmış ve sistem içi tersinmezliklerin olmadığı ideal absorpsiyon çevrimi olduğu kabul edilmiştir.

Bu kabulde:

- Absorberde ve buharlaştırıcıda basıncın sabit olduğu,
- Kaynatıcı ve yoğuşturucuda basıncın sabit olduğu,
- Absorberde solüsyonun tekrar devridaim olmadığı,
- Pompada ve kısılma vanasında tersinmezlik olmadığı,
- Akış sırasında sürtünme kayıplarının, dolayısıyla basınç düşümünün olmadığı, göz önüne alınmaktadır.

| Soğutucu akışkan çiftleri | $T_k$ °C | $T_b$ °C | $T_{yo}$ °C | $T_{ab}$ °C | % $x_{ab}$ | % $x_k$ | STK   |
|---------------------------|----------|----------|-------------|-------------|------------|---------|-------|
| Lityumbromür-su           | 60       | 4        | 20          | 30          | 53.2       | 58.8    | 0.773 |
| Su-amonyak                | 60       | 4        | 20          | 30          | 56.9       | 48.5    | 0.60  |
| Su-carrol                 | 60       | 4        | 20          | 30          | 60.04      | 66.48   | 0.745 |

|  |         |
|--|---------|
| Kabuller                                       |         |
| İzentropik pompa                               |         |
| Soğutucu akışkan saf su                        |         |
| 1,4,8,10 noktaları doymuş özelliklere sahiptir |         |
| Girdiler                                       |         |
| $Q_b$  | 6217 kW |

|                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| Kaynatıcı sıcaklığı      | 55.7°C ( $T_4 = T_7$ ) |
| Buharlaştırıcı sıcaklığı | 5°C ( $T_{10} = T_9$ ) |
| Yoğuşturucu sıcaklığı    | 30°C ( $T_8$ )         |
| Absorber sıcaklığı       | 25°C ( $T_1$ )         |

Tablo 1: Akışkanların karşılaştırılması

Tek etkili sistemler için, pratikte uygulanabilirliği en uygun hallerin ve sıcaklıkların alındığı hesaplamalar çalışmada ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Yoğuşturucu ve absorberden atılan ısının seri bağlanmış soğutma suyu devresine verilmesi tasarlanmış ve soğutma suyu giriş çıkış sıcaklıkları absorber ve yoğuşturucu sıcaklıklarına göre belirlenmiştir. Sitemin analizine kabuller ve girdiler ortaya konarak başlanmıştır. Sonraki aşamada her eleman için birinci kanun yazılarak çözümlene yapılmıştır.

### Birinci Kanunun analizi

Buharlaştırıcı için birinci kanun:

$$Q_b = m_{10} (h_{10} - h_9)$$

Absorber için birinci kanun ve kütle korunumu:

$$Q_a = m_{10}h_{10} + m_6h_6 - m_1h_1$$

$$m_1 = m_{10} + m_6$$

$$m_6 x_6 = m_1 x_1$$

Kısılma vanaları için birinci kanun:

$$h_5=h_6, h_8=h_9, h_1=h_2$$

Kaynatıcı için birinci kanun:

$$Q_k = m_7 h_7 + m_4 h_4 - m_3 h_3$$

Yoğuşturucu için birinci kanun:

$$Q_{yo} = m_7 (h_7 - h_8)$$

STK değeri de ;

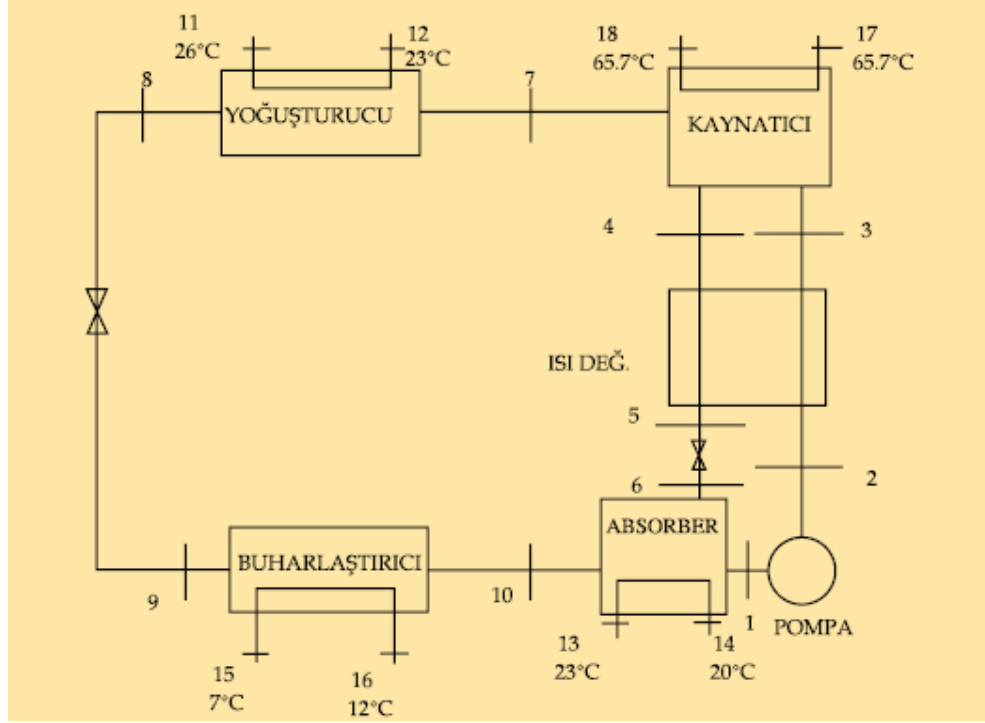
STK =  $Q_b / Q_k$  şeklinde hesaplanmış ve şu sonuçlar elde edilmiştir.

### **İkinci Kanun Analizi**

Bir enerji kaynağı bulunduğu zaman, bunun ne kadarının işe dönüştürülebileceği araştırılır. Belirli bir miktardaki enerjiden elde edilebilecek işi veren özellik kullanılabilirliktir. Ayrıca bir sistem için birinci kanun verimi her zaman doğru sonuç veremeyebilir. Bu bakımdan bir de ikinci kanun verimine bakılmalıdır. İkinci kanun verimi, gerçek ısı veriminin, aynı şartlarda olabilecek en yüksek (tersinir) ısı verime oranıdır. Bu amaçla, tek etkili sistem için, sistemde bulunan her bir eleman göz önüne alınmış ve kullanılabilirlik farkı hesaplamaları yapılmıştır. Kullanılabilirlik farkı aynı zamanda tersinir işi ifade etmektedir. Ayrıca bulunan kullanılabilirlikler yardımıyla ikinci kanun verimi de hesaplanmıştır. Kullanılabilirliğin tanımı;

$$\Phi = (h - h_0) - T_0 (S - S_0)$$

olarak verilmiştir. Sistemin çevre sıcaklığı İstanbul yaz şartları için,  $T_0=303$  °K olarak alınmıştır.



Şekil-12: Tek etkili LiBr-Su çevrimi

Her bir eleman için kullanılabilirlik;

Yoğuşturucu:

$$\Delta\Phi_{yo} = m_7(\Phi_7 - \Phi_s) + m_{11,12}(\Phi_{11} - \Phi_{12})$$

Buharlaştırıcı:

$$\Delta\Phi_b = m_{10}(\Phi_{10} - \Phi_9) + m_{15,16}(\Phi_{16} - \Phi_{15})$$

Absorber:

$$\Delta\Phi_a = m_1\Phi_1 - m_{10}\Phi_{10} - m_3\Phi_3 + m_{13}(\Phi_{13} - \Phi_{14})$$

Kaynatıcı:

$$\Delta\Phi_k = m_4\Phi_4 - m_7\Phi_7 - m_3\Phi_3 + m_{18}(\Phi_{18} - \Phi_{17})$$

Isı Değiştiricisi:

$$\Delta\Phi_{IE} = m_4(\Phi_5 - \Phi_4) + m_2(\Phi_3 - \Phi_2)$$

formülasyonu ile hesaplanmış ve

$$\varepsilon = \Delta\Phi_b / \Delta\Phi_{e\text{lemanlar}}$$

tanımıyla verilen ikinci kanun verimi bulunmuştur.

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| Buharlaştırıcı    | : | -402.45   |
| Yoğuşturucu       | : | -58.6     |
| Absorber          | : | -542.52   |
| Kaynatici         | : | -144.616  |
| Isı Değiştiricisi | : | -497.11   |
| Toplam            | : | -1645.296 |
| $\varepsilon$     | : | 0.25      |

## Sonuçlar

Hesaplarla elde edilen birinci kanun STK değerleri, endüstride kullanılan değerlerin biraz üzerinde çıkmıştır. Bunun da sebebi sistemin hesapları yapılırken ideal sistem olarak alınması ve tamamen teorik anlayışla hesap yapılmasıdır. Kayıplar ihmal edilmiş ve tersinmez bir sistem olduğu düşünülmüş tür. Ayrıca sisteme ısı veren ve alan çeşitli akışkanların sıcaklıkları da STK'yı etkilemiştir. Ancak ikinci kanun verimi hesaplandığında, tersinmezliklerin de hesaba katılmasıyla verim buna bağlı olarak düşmüştür.

Tek etkili sistemlerde STK' lar, buharlaştırıcı, yoğuşturucu, absorber ve kaynatici sıcaklıklarıyla kontrol edilmektedirler. Bu sıcaklıklar da:

- $T_b$  , buharlaştırıcı sıcaklığıdır ve üretilen soğutulmuş su sıcaklığı ile kontrol edilir.
- $T_{ab}$  , absorber sıcaklığıdır ve soğutma suyu çıkış sıcaklığı ile kontrol edilir.
- $T_{yo}$  , yoğuşturucu sıcaklığıdır ve soğutma suyu çıkış sıcaklığı ile kontrol edilir.
- $T_k$  , kaynatici sıcaklığıdır ve ısı kaynağının çıkış sıcaklığı ile kontrol edilir.

Bu şekilde sıcaklıkların nasıl değiştiği ortaya konduktan sonra, bunların STK üzerinde etkilerine de bakılabilir.

- Yüksek soğutulmuş su sıcaklığı üretimi soğutma kapasitesini ve STK'sını yükseltir.
- Düşük soğutma suyu sıcaklıkları, daha yüksek STK ve soğutma kapasitesi sağlar.
- Yüksek ısı kaynağı sıcaklığı STK 'yı çok değiştirmez ancak soğutma kapasitesini artırır.

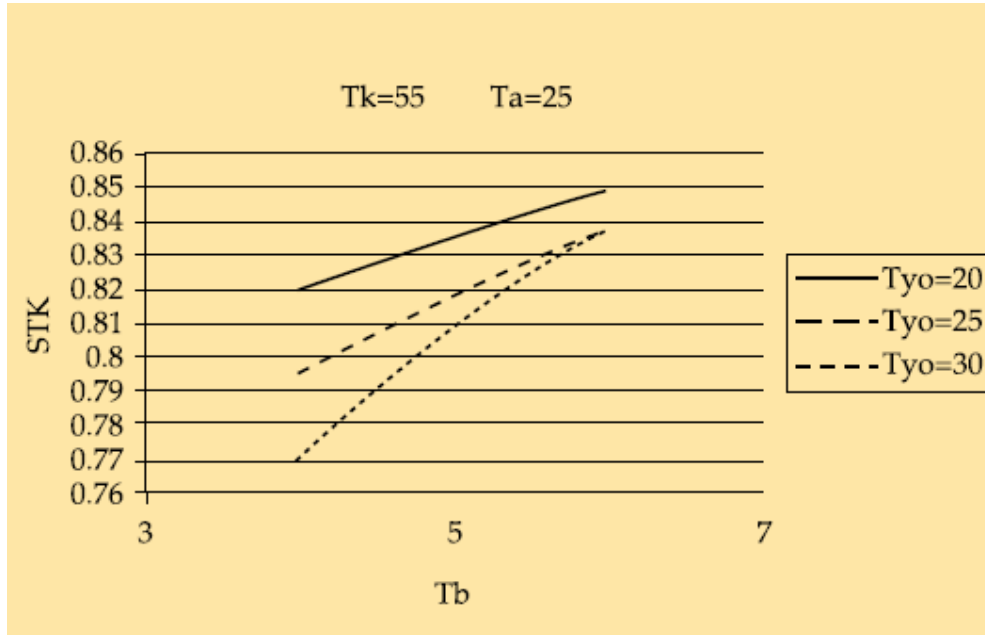
Aynı kaynatıcı sıcaklığında, buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve absorber sıcaklıklarının değişiminin STK üzerinde etkisi grafikler yardımıyla incelenmiştir. Bu sonuçlar da Tablo-3 ve Şekil-22 , 23 ve 24 'te verilmiştir.

| Nokta           | h(kj/kg)   | m(kg/s) | P(kPa) | T(°C) | x(% Li-Br) |
|-----------------|------------|---------|--------|-------|------------|
| 1               | 49.2       | 34.4    | 0.871  | 25    | 47.7       |
| 2               | 49.2       | 34.4    | 4.24   | 25    | 47.7       |
| 3               | 84         | 34.4    | 4.24   | 48.3  | 47.7       |
| 4               | 118        | 31.8    | 4.24   | 55.7  | 51.6       |
| 5               | 80.346     | 31.8    | 4.24   | 45    | 51.6       |
| 6               | 80.346     | 31.8    | 0.871  | 30    | 51.6       |
| 7               | 2605       | 2.6     | 4.24   | 55.7  | 0.0        |
| 8               | 125.79     | 2.6     | 4.24   | 30    | 0.0        |
| 9               | 125.79     | 2.6     | 0.871  | 5     | 0.0        |
| 10              | 2510.6     | 2.6     | 0.871  | 5     | 0.0        |
| STK             | 0.81       |         |        |       |            |
| Q <sub>k</sub>  | 7687.8 kW  |         |        |       |            |
| Q <sub>yo</sub> | 6497.9 kW  |         |        |       |            |
| Q <sub>a</sub>  | 7390.08 kW |         |        |       |            |

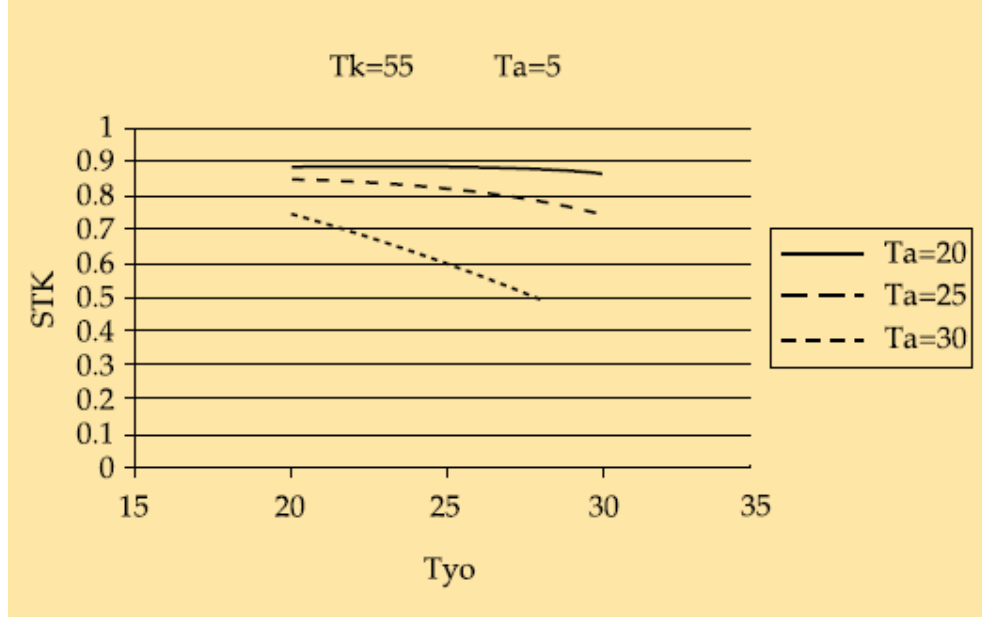
Tablo-2: Çevrim noktalarının özellikleri

| $T_k$ | $T_{ab}$ | $T_{yo}$ | $T_b$ | $X_k(\%)$   | $X_{ab}(\%)$ |
|-------|----------|----------|-------|---|--------------|
| 55    | 20       | 20       | 4     | 56,8  | 46           |
| 55    | 20       | 20       | 5     | 56,8  | 45           |
| 55    | 20       | 20       | 6     | 56,8  | 44           |
| 55    | 20       | 25       | 4     | 54  | 46           |
| 55    | 20       | 25       | 5     | 54  | 45           |
| 55    | 20       | 25       | 6     | 54  | 44           |
| 55    | 20       | 30       | 4     | 51,6  | 46           |
| 55    | 20       | 30       | 5     | 51,6  | 45           |
| 55    | 20       | 30       | 6     | 51,6  | 44           |
| 55    | 25       | 20       | 4     | 56,8  | 48,7         |
| 55    | 25       | 20       | 5     | 56,8  | 47,7         |
| 55    | 25       | 20       | 6     | 56,8  | 46,7         |
| 55    | 25       | 25       | 4     | 54  | 48,7         |
| 55    | 25       | 25       | 5     | 54  | 47,7         |
| 55    | 25       | 25       | 6     | 54  | 46,7         |
| 55    | 25       | 30       | 4     | 51,6  | 48,7         |
| 55    | 25       | 30       | 5     | 51,6  | 47,7         |
| 55    | 25       | 30       | 6     | 51,6  | 46,7         |
| 55    | 30       | 20       | 4     | 56,8  | 53           |
| 55    | 30       | 20       | 5     | 56,8  | 52,5         |
| 55    | 30       | 20       | 6     | 56,8  | 52           |
| 55    | 30       | 25       | 4     | 54  | 53           |
| 55    | 30       | 25       | 5     | 54  | 52,5         |
| 55    | 30       | 25       | 6     | 54  | 52           |
| 55    | 30       | 30       | 4     | Bu noktalarda $X_{ab} > X_k$<br>dolayısıyla sistem<br>çalışmaz. |              |
| 55    | 30       | 30       | 5     |   |              |
| 55    | 30       | 30       | 6     |   |              |

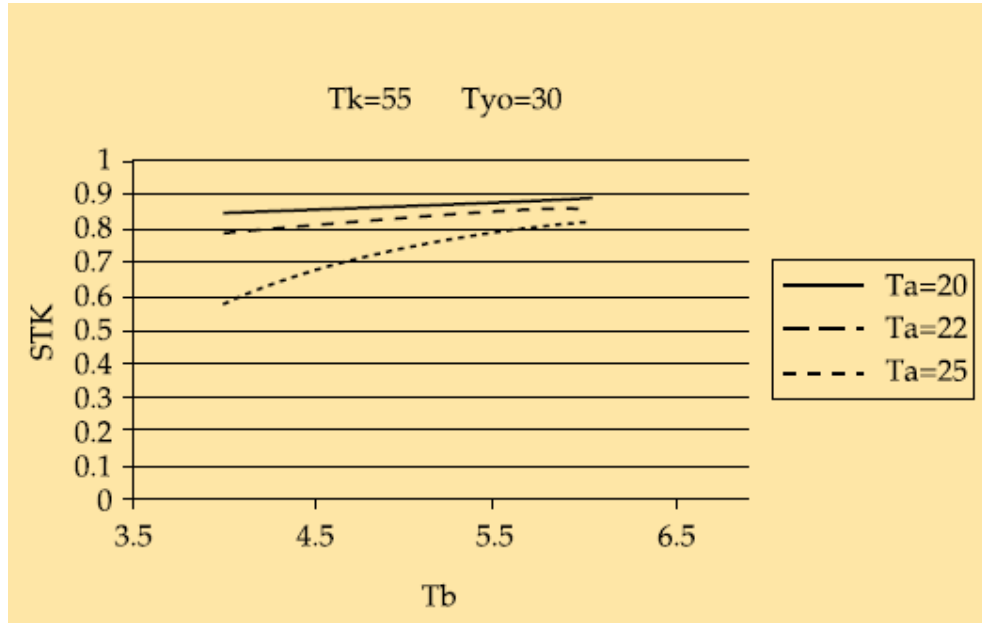
Tablo-3: Çeşitli çalışma şartlarına göre derişimler



Şekil-13: Yoğuşma sıcaklığına göre SKT değişimi



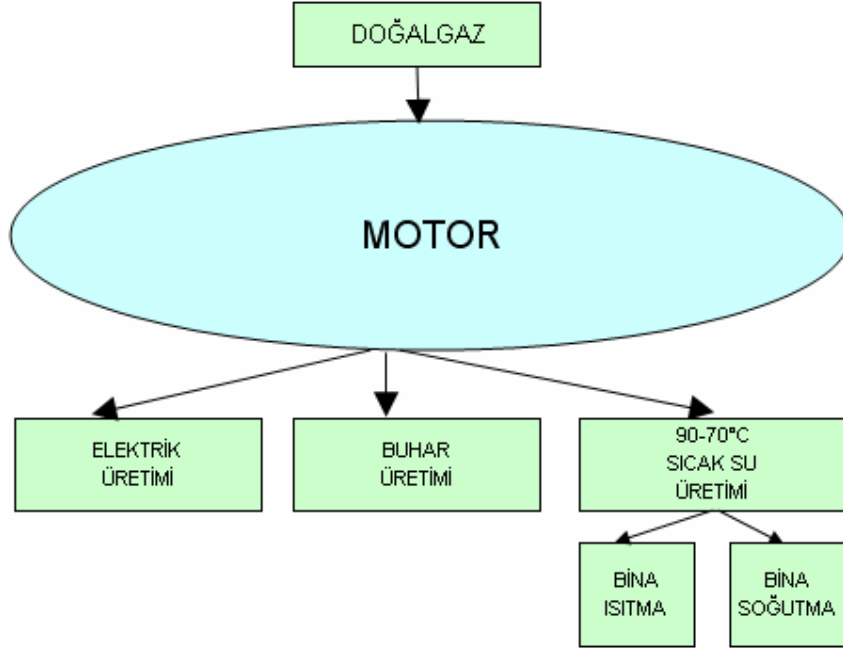
Şekil-14: Absorber sıcaklığına göre SKT değişimi



Şekil-15: Absorber sıcaklığına göre SKT değişimi

## 5. ÖRNEK SİSTEM DİZAYNI VE FİZİBİLETSİ

### 5.1. KABULLER:



Şekil-16: Sistem Tasarımı

Sistem Tasarımı :

- 2.000 ekW elektrik üretimi
- Egzost sisteminden, 10 bar basınçta buhar üretimi
- Blok ısısından (ceket & yağ soğutma) 70 – 90 °C Sıcak Su üretimi
  - 70 – 90 °C su ile 6 ay bina ısıtma;
  - 70 – 90 °C su ile 4 ay bina soğutması (absorbsiyonlu chiller ile 7 – 12°C soğuk su üretilecektir.)

5.500 ekW değerine kadar motor tercih edilmektedir. 5.500 ekW değerinin üzerinde ise gaz türbinleri tercih edilmektedir. Çünkü elektriksel verimler;

Motor için : %41  
 Türbini için : %31 olmaktadır.

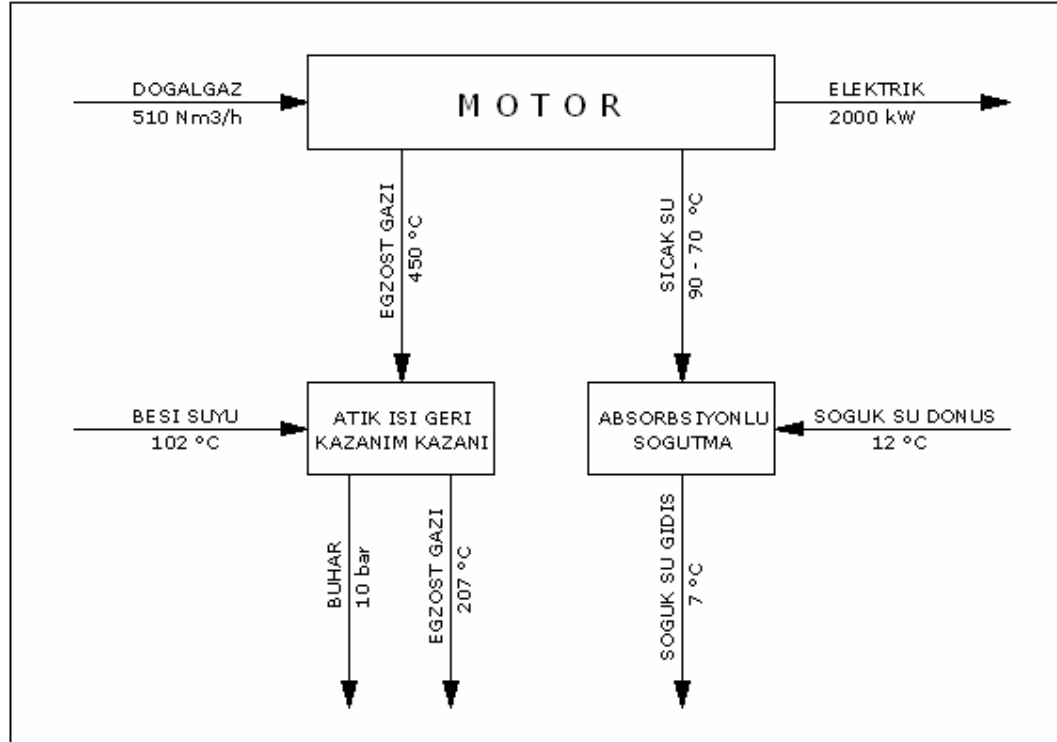
|                  |  |
|------------------|--|
| Makina Bilgileri | :  |
| Sistemin gücü :  |  |
| Elektrik         | : 2.000 ekW  |
| Mekanik          | : 2.070 bkW  |
| Yakıt            | : Doğalgaz   |
| Alt ısıl değeri  | : 8.250 kcal/Nm <sup>3</sup> 34.535 kj/Nm <sup>3</sup> |
| Fiyatı           | : 22 €-cent / Nm <sup>3</sup>                          |
| Tüketim          | : 511 Nm <sup>3</sup> /h                               |

### Sistemin Ürettiği Isılar:

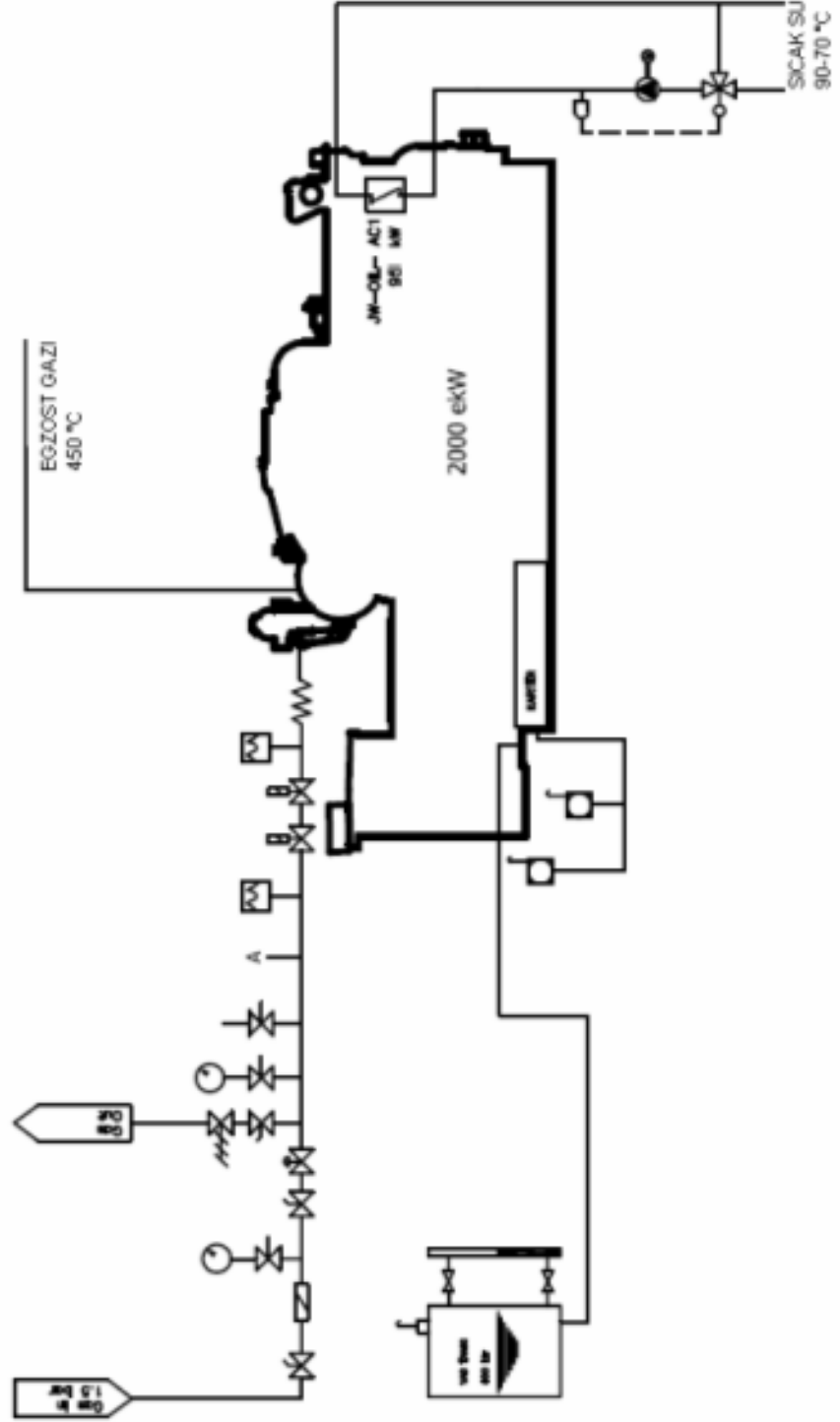
- Egzost Sistemi
 

|           |                 |
|-----------|-----------------|
| Sıcaklığı | : 450°C         |
| Debisi    | : 11.551 kg/h   |
| Cp        | : 1.163 kj/kg.C |
- Blok Soğutma Isısı
 

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Ceket + Yağ soğutma | : 951 Kw |
|---------------------|----------|



Şekil-17: Sistem Şeması



Şekil-18: Örnek sistem doğalgaz motoru ile elektrik üretimi ve atık ısılar diagramı

## 5.2. ATIK ISLARIN GERİ KAZANIMI

### 5.2.1. BUHAR ÜRETİMİ

Enerji Kaynağı : Atık Egzost Gazı

Sıcaklığı : 450°C

Debisi : 11.551 kg/h

Cp : 1.163 kJ/kg.C

Sistem : Atık Gaz kazanı ile  
10 bar basınçta doymuş buhar üretimi

Su giriş sıcaklığı : 102°C

Su giriş entalpy : 427 kJ/kg

Buhar sıcaklığı : 184°C

Buhar entalpy : 2.776 kJ/kg

Egzost

Giriş sıcaklığı : 450°C

Çıkış Sıcaklığı : 207°C

Debisi : 11.551 kg/h

Cp : 1.163 kJ/kg.C

Giren Enerji

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta t$$

$$Q = 11.551 \times 1,163 \times (450 - 207)$$

$$Q = 3.265.000 \text{ kJ/h}$$

$$Q = 907 \text{ kW}$$

Üretilen buhar miktarı

$$Q = m \cdot (h_{\text{buhar}} - h_{\text{su}})$$

$$3.265.000 = m (2.776 - 427)$$

$$m = 1.390 \text{ kg/ h}$$

### 5.2.1.1. ATIK ISI GERİ KAZANIM KAZANI DİZAYNI

Atık Gaz sıcaklığı : 450 °C

Atık gaz debisi :  $m_g = 11.551 \text{ kg/h}$

:  $V_g = 9.340 \text{ m}^3/\text{h}$  (450 °C için)

$C_p$  :  $1.163 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} = 0,278 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

Buhar basıncı : 10 bar

Buhar sıcaklığı :  $t_s = 184 \text{ }^\circ\text{C}$

Su giriş sıcaklığı : 102 °C

Tip : 5 geçişli

Boy :  $L = 6 \text{ m}$

Kullanılan boru çapı : 70 / 76 mm  $d_0 = 73 \text{ mm}$

#### 1. Geçiş:

Gaz giriş – çıkış sıcaklıkları :  $t_1 = 450 \text{ }^\circ\text{C}$   $t_2 = 335 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = \text{Isı yükü} : Q = m_g C_p \Delta t$$

$$Q = 11.551 \times 0,278 \times (450 - 335) = 369.017 \text{ kcal/h}$$

$$\Delta T_{\text{LOSP1}} = \frac{(t_1 - t_s) - (t_2 - t_s)}{\ln \frac{(t_1 - t_s)}{(t_2 - t_s)}}$$

Logaritmik ortalama sıcaklık farkı : 203 °C

$t_{w1}$  = Boru üzeri sıcaklık

$$t_{w1} = t_s + 10 = 184 + 10 = 194 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$t_{w2}$  = Ortalama duman gazı sıcaklığı

$$t_{w2} = (t_1 + t_2) / 2 = (450 + 335) = 392 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_m = (t_{w1} + t_{w2}) / 2 = (194 + 392) = 293 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad b = 0,111$$

Boru ıstma yüzeyi :  $F_B = \tau \cdot d_o \cdot L$

$$F_B = 3,14 \times 0,073 \times 6 = 1,37532 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 52 \text{ m}^2 \quad \text{kabul değeri için boru adedi } n_1 = 52 / 1,37532 = 38 \text{ adet}$$

Duman gazlarının geçtiği kesit :  $F_r = (\tau \cdot d_i^2 \cdot n) / 4$

$$F_r = (3,14 \times (0,07)^2 \times 38) / 4 = 0,146 \text{ m}^2$$

$U_s$  = Duman gazlarının hacimsel debisi:

$$U_s = \frac{V_g \cdot ((t_1 + t_2) / 2) + 273}{(450 + 273) \cdot 3600}$$

$$U_s = \frac{9340 \cdot (((450 + 335) / 2) + 273)}{(450 + 273) \cdot 3600} = 2,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$W_R$  = Duman gazlarının hızı:  $W_R = U_s / F_r$

$$W_R = 16,3 \text{ m/s}$$

$\alpha$  = Isı transfer katsayısı :  $\alpha = \frac{23,7 \cdot W_R^{0,79} \cdot b}{L^{0,05} \cdot d_i^{0,16}} \quad (\text{gazlar boru içinden akıyor})$

$$\alpha = 34,6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$F_1$  kontrolü;

$$F_1 = \frac{Q_1}{\alpha \cdot \Delta T_{LOSF1}} = \frac{369017}{34,6 \cdot 203} = 52,4 \text{ m}^2 \approx 52 \text{ m}^2 \text{ kabul değeri} \quad \Rightarrow \text{uygun}$$

**2. Geçiş:**

Gaz giriş – çıkış sıcaklıkları :  $t_1 = 335 \text{ }^\circ\text{C}$   $t_2 = 275 \text{ }^\circ\text{C}$

Q = Isı yükü :

$$Q = m_g C_p \Delta t$$

$$Q = 11.551 \times 0,278 \times (335 - 275) = 192.530 \text{ kcal/h}$$

$$\Delta T_{LOSFI} = \frac{(t_1 - t_s) - (t_2 - t_s)}{\ln \frac{(t_1 - t_s)}{(t_2 - t_s)}}$$

Logaritmik ortalama sıcaklık farkı :  $118 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_{w1}$  = Boru üzeri sıcaklık

$$t_{w1} = t_s + 10 = 184 + 10 = 194 \text{ }^\circ\text{C}$$

$t_{w2}$  = Ortalama duman gazı sıcaklığı

$$t_{w2} = (t_1 + t_2) / 2 = (335 + 275) / 2 = 305 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_m = (t_{w1} + t_{w2}) / 2 = (194 + 305) / 2 = 249 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow b = 0,116$$

Boru ıstma yüzeyi :

$$F_B = \tau \cdot d_0 \cdot L$$

$$F_B = 3,14 \times 0,073 \times 6 = 1,37532 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 45 \text{ m}^2 \quad \text{kabul değeri için boru adedi } n_1 = 45 / 1,37532 = 33 \text{ adet}$$

Duman gazlarının geçtiği kesit :

$$F_r = (\tau \cdot d_i^2 \cdot n) / 4$$

$$F_r = (3,14 \times (0,07)^2 \times 33) / 4 = 0,127 \text{ m}^2$$

$U_s$  = Duman gazlarının hacimsel debisi:

$$U_s = \frac{V_g \cdot (((t_1 + t_2) / 2) + 273)}{(450 + 273) \cdot 3600}$$

$$U_s = \frac{9340 \cdot (((335 + 275) / 2) + 273)}{(450 + 273) \cdot 3600} = 2,07 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W_R = \text{Duman gazlarının hızı:} \quad W_R = U_s / F_r$$

$$W_R = 16,3 \text{ m/s}$$

$$\alpha = \text{Isı transfer katsayısı} \quad : \quad \alpha = \frac{23,7 \cdot W_R^{0,79} \cdot b}{L^{0,05} \cdot d_i^{0,16}} \quad (\text{gazlar boru içinden akıyor})$$

$$\alpha = 36,2 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$F_1$  kontrolü;

$$F_1 = \frac{Q_1}{\alpha \cdot \Delta T_{LOS F_1}} = \frac{192630}{34,2 \cdot 118} = 44,9 \text{ m}^2 \approx 45 \text{ m}^2 \text{ kabul değeri} \quad \Rightarrow \text{uygun}$$

### 3. Geçiş:

$$\text{Gaz giriş - çıkış sıcaklıkları} \quad : \quad t_1 = 275 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_2 = 241 \text{ }^\circ\text{C}$$

$Q = \text{Isı yükü} :$

$$Q = m_g \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$Q = 11.551 \times 0,278 \times (275 - 241) = 109.101 \text{ kcal/h}$$

$$\Delta T_{LOS F_1} = \frac{(t_1 - t_s) - (t_2 - t_s)}{\ln \frac{(t_1 - t_s)}{(t_2 - t_s)}}$$

$$\text{Logaritmik ortalama sıcaklık farkı} \quad : 73 \text{ }^\circ\text{C}$$

$t_{w1} = \text{Boru üzeri sıcaklık}$

$$t_{w1} = t_s + 10 = 184 + 10 = 194 \text{ }^\circ\text{C}$$

$t_{w2} = \text{Ortalama duman gazı sıcaklığı}$

$$t_{w2} = (t_1 + t_2) / 2 = (275 + 241) / 2 = 258 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_m = (t_{w1} + t_{w2}) / 2 = (194 + 258) / 2 = 226 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad b = 0,118$$

$F_B = \text{Boru ıstma yüzeyi} :$

$$F_B = \tau \cdot d_0 \cdot L$$

$$F_B = 3,14 \times 0,073 \times 6 = 1,37532 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 41 \text{ m}^2 \quad \text{kabul değeri iin boru adedi} \quad n_1 = 41 / 1,37532 = 30 \text{ adet}$$

$$\begin{aligned} \text{Duman gazlarının getiği kesit} : \quad F_r &= (\tau \cdot d_i^2 \cdot n) / 4 \\ F_r &= (3,14 \times (0,07)^2 \times 30) / 4 = 0,115 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$U_s$  = Duman gazlarının hacimsel debisi:

$$\begin{aligned} U_s &= \frac{V_g \cdot (((t_1 + t_2) / 2) + 273)}{(450 + 273) \cdot 3600} \\ U_s &= \frac{9340 \cdot (((275 + 241) / 2) + 273)}{(450 + 273) \cdot 3600} = 1,91 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_R = \text{Duman gazlarının hızı} : \quad W_R &= U_s / F_r \\ W_R &= 16,5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\alpha = \text{Isı transfer katsayısı} \quad : \quad \alpha = \frac{23,7 \cdot W_R^{0,79} \cdot b}{L^{0,05} \cdot d_i^{0,16}} \quad (\text{gazlar boru iinden akıyor})$$

$$\alpha = 37,1 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$F_1$  kontrolü;

$$F_1 = \frac{Q_1}{\alpha \cdot \Delta T_{LOSF1}} = \frac{109101}{37,1 \cdot 73} = 40,4 \text{ m}^2 \approx 41 \text{ m}^2 \text{ kabul değeri} \quad \Rightarrow \text{uygun}$$

#### 4. Geiş:

$$\text{Gaz giriş – ıkış sıcaklıkları} \quad : \quad t_1 = 241 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_2 = 220 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q = \text{Isı yk} : \quad Q &= m_g \text{ Cp } \Delta t \\ Q &= 11.551 \times 0,278 \times (241 - 220) = 67.386 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

$$\Delta T_{LOSF1} = \frac{(t_1 - t_s) - (t_2 - t_s)}{\ln \frac{(t_1 - t_s)}{(t_2 - t_s)}}$$

$$\text{Logaritmik ortalama sıcaklık farkı} \quad : 46 \text{ }^\circ\text{C}$$

$t_{w1}$  = Boru üzeri sıcaklık

$$t_{w1} = t_s + 10 = 184 + 10 = 194 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$t_{w2}$  = Ortalama duman gazı sıcaklığı

$$t_{w2} = (t_1 + t_2) / 2 = (241 + 220) = 230 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_m = (t_{w1} + t_{w2}) / 2 = (194 + 230) = 212 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad b = 0,120$$

Boru ıstma yüzeyi :  $F_B = \tau \cdot d_o \cdot L$

$$F_B = 3,14 \times 0,073 \times 6 = 1,37532 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 40 \text{ m}^2 \quad \text{kabul değeri için boru adedi } n_1 = 40 / 1,37532 = 29 \text{ adet}$$

Duman gazlarının geçtiği kesit :  $F_r = (\tau \cdot d_i^2 \cdot n) / 4$

$$F_r = (3,14 \times (0,07)^2 \times 29) / 4 = 0,111 \text{ m}^2$$

$U_s$  = Duman gazlarının hacimsel debisi:

$$U_s = \frac{V_g \cdot ((t_1 + t_2) / 2) + 273}{(450 + 273) \cdot 3600}$$

$$U_s = \frac{9340 \cdot (((241 + 220) / 2) + 273)}{(450 + 273) \cdot 3600} = 1,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

$W_R$  = Duman gazlarının hızı:  $W_R = U_s / F_r$

$$W_R = 16,2 \text{ m/s}$$

$\alpha$  = Isı transfer katsayısı :  $\alpha = \frac{23,7 \cdot W_R^{0,79} \cdot b}{L^{0,05} \cdot d_i^{0,16}} \quad (\text{gazlar boru içinden akıyor})$

$$\alpha = 37,2 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

$F_1$  kontrolü;

$$F_1 = \frac{Q_1}{\alpha \cdot \Delta T_{LOSF1}} = \frac{67.386}{37,2 \cdot 46} = 39,6 \text{ m}^2 \approx 40 \text{ m}^2 \text{ kabul değeri} \quad \Rightarrow \text{uygun}$$

**5. Geçiş:**

Gaz giriş – çıkış sıcaklıkları :  $t_1 = 220 \text{ }^\circ\text{C}$   $t_2 = 207 \text{ }^\circ\text{C}$

Q = Isı yükü :

$$Q = m_g C_p \Delta t$$

$$Q = 11.551 \times 0,278 \times (220 - 207) = 41.715 \text{ kcal/h}$$

$$\Delta T_{LOSFI} = \frac{(t_1 - t_s) - (t_2 - t_s)}{\ln \frac{(t_1 - t_s)}{(t_2 - t_s)}}$$

Logaritmik ortalama sıcaklık farkı :  $46 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_{w1}$  = Boru üzeri sıcaklık

$$t_{w1} = t_s + 10 = 184 + 10 = 194 \text{ }^\circ\text{C}$$

$t_{w2}$  = Ortalama duman gazı sıcaklığı

$$t_{w2} = (t_1 + t_2) / 2 = (220 + 207) = 213 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_m = (t_{w1} + t_{w2}) / 2 = (194 + 213) = 203 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\Rightarrow$

$$b = 0,121$$

Boru ıstma yüzeyi :

$$F_B = \tau \cdot d_0 \cdot L$$

$$F_B = 3,14 \times 0,073 \times 6 = 1,37532 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 38 \text{ m}^2 \quad \text{kabul değeri için boru adedi } n_1 = 38 / 1,37532 = 28 \text{ adet}$$

Duman gazlarının geçtiği kesit :

$$F_r = (\tau \cdot d_i^2 \cdot n) / 4$$

$$F_r = (3,14 \times (0,07)^2 \times 28) / 4 = 0,107 \text{ m}^2$$

$U_s$  = Duman gazlarının hacimsel debisi:

$$U_s = \frac{V_g \cdot (((t_1 + t_2) / 2) + 273)}{(450 + 273) \cdot 3600}$$

$$U_s = \frac{9340 \cdot (((220 + 207) / 2) + 273)}{(450 + 273) \cdot 3600} = 1,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$W_R = \text{Duman gazlarının hızı:}$   $W_R = U_s / F_r$

$W_R = 16,2 \text{ m/s}$

$\alpha = \text{Isı transfer katsayısı}$  :  $\alpha = \frac{23,7 \cdot W_R^{0,79} \cdot b}{L^{0,05} \cdot d_i^{0,16}}$  (gazlar boru içinden akıyor)

$\alpha = 37,5 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

$F_1$  kontrolü;

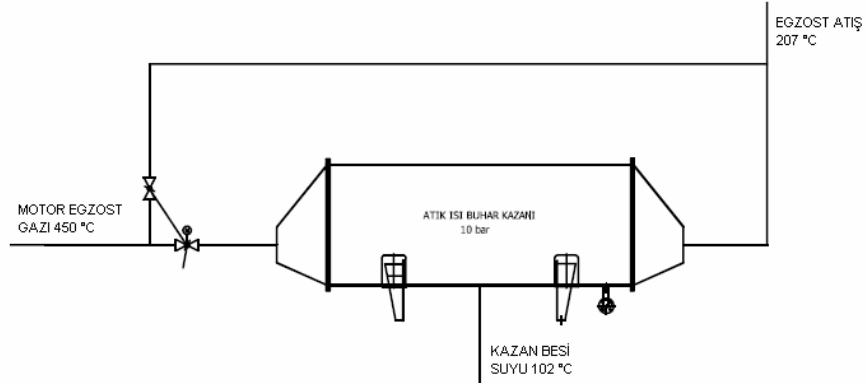
$$F_1 = \frac{Q_1}{\alpha \cdot \Delta T_{LOS F_1}} = \frac{41715}{37,5 \cdot 29} = 38,3 \text{ m}^2 \approx 38 \text{ m}^2 \text{ kabul değeri} \Rightarrow \text{uygun}$$

### 5.2.1.2. ATIK ISI GERİ KAZANIM KAZANI TOPLAM ISI KAPASİTESİ

$$Q_{\text{Toplam}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$Q_{\text{Toplam}} = 369.017 + 192.530 + 109.101 + 67.386 + 41.715$$

$$Q_{\text{Toplam}} = 780.000 \text{ kcal/h} = 907 \text{ kWh}$$



Şekil-19: Örnek sistem atık ısı geri kazanım buhar kazanımı

### 5.2.2. 70 – 90 °C SICAK SU ÜRETİMİ

Enerji Kaynağı : Blok ısısı (ceket & yağ soğutma)

Kapasite : 951 kW

Sistem : Blok ısısı yardımıyla 70 – 90°C sıcak su üretilmesi

$$Q = 951 \text{ kW} = 818.000 \text{ kcal/h}$$

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

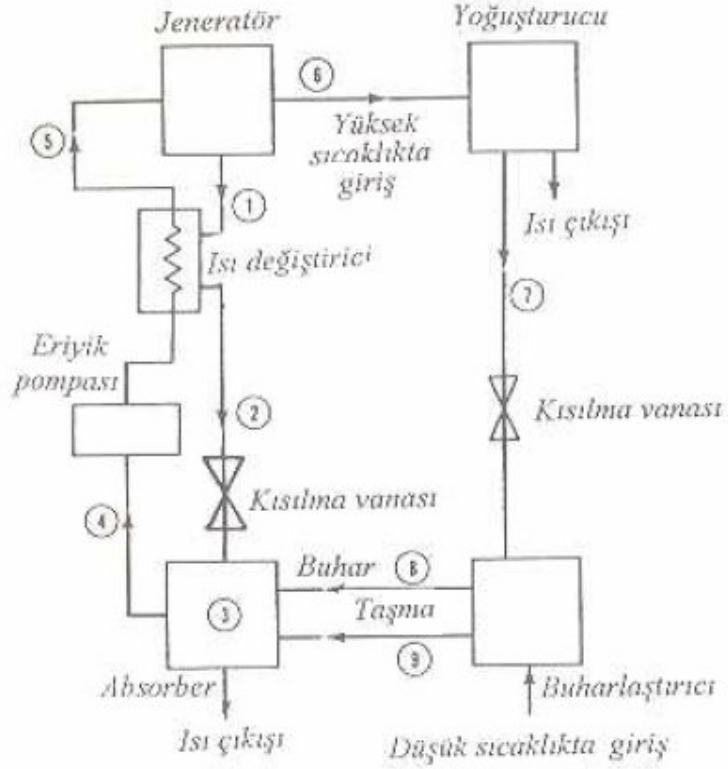
$$818.000 = m \cdot 1 (90 - 70)$$

$$m = 40.900 \text{ kg/h}$$

### 5.2.3. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİ

Absorbsiyonlu soğutma ile 7 – 12°C soğuk su elde edilerek bina soğutmasında kullanılacaktır.

70 – 90°C sıcak su kaynağı ile çalışacak, tek kademeli lityum bromid absorpsiyonlu sistemi kullanımı için aşağıdaki dizayn şartları kabul edilmiştir.



Şekil-20: Lityum bromid-su eriyikli tek kademeli absorpsiyonlu soğutma çevrimi

- Buharlaştırıcı sıcaklığı ( 8 noktası) : 5°C
- Absorber denge sıcaklığı (3 noktası): 25°C
- 4 noktası eriyik sıcaklığı: 25°C
- 5 noktası eriyik sıcaklığı: 48,3°C
- 1 noktası eriyik sıcaklığı: 55,7°C
- 2 noktasında eriyik sıcaklığı: 45°C
- 6 noktasında soğutucu akışkan buhar sıcaklığı: 96,1°C
- 7 noktasında soğutucu akışkan sıcaklığı: 45°C
- 9 noktasındaki soğutucu akışkanın taşması: 8 noktasındaki debiye göre %2,5
- Absorberden çıkan eriyik kütlelerinin birim soğutucu akışkan kütlelerine oranı:  $X=12,67$
- Soğutma suyu giriş sıcaklığı: 30°C
- Sistemde asal madde yoktur.
- Soğutma kulesi su debisi: 0,0646 m<sup>3</sup>/s

Lityum bromid diagramları ve su buharı tabloları kullanılarak, sistemdeki çeşitli elemanlardaki akışkan debilerini, ısı yüklerini ve soğutma tesir katsayısını (COP) hesaplamak istersek;

Buharlaştırıcıya giriş ve çıkıştaki entalpiler:

$$\begin{aligned} 8 \text{ noktası} & : h_v = 2510,6 \text{ kJ/kg} \\ 7 \text{ noktası} & : h_l = 125,79 \text{ kJ/kg} \\ 8 \text{ ile } 9 \text{ arasındaki fark:} & \Delta h = h_v - h_l = 2363,3 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

1 kW soğutma yükü için soğutucu akışkan debisi :

$$R_E = 1,025 \frac{1(kW)}{2363,3(kJ/kg)} = 0,0004406 \text{ kg/s}$$

$$\text{Seyreltik eriyik} : X \cdot R_E = (10,35) (0,0004406) = 0,0045603 \text{ kg/s}$$

$$\text{Konsantre eriyik} : (X - 1) R_E = 0,0041197 \text{ kg/s}$$

Jeneratörde yaklaşık mutlak basınç : 9,60 kPa

Karakterik noktalardaki entalpiler :

$$\begin{aligned} 9 \text{ noktası} & : h_l = 20,97 \text{ kJ/kg} \\ 2 \text{ noktası} & : h_l = 80,35 \text{ kJ/kg} \\ 4 \text{ noktası} & : h_l = 49,20 \text{ kJ/kg} \\ 5 \text{ noktası} & : h_l = 84,00 \text{ kJ/kg} \\ 1 \text{ noktası} & : h_l = 118,00 \text{ kJ/kg} \\ 6 \text{ noktası} & : h_v = 2605,00 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

**Her bir elemanın ısı ve kütle dengesi :**

**Absorber:**

Isı girişi :

|               |   |   |        |    |
|---------------|---|---|--------|----|
| 2 noktasından | $0,0041197 \times 80,35$                        | = | 0,331  | kW |
| 8 noktasından | $(0,0004406 / 1,025) \times 2510,6$             | = | 1,079  | kW |
| 9 noktasından | $(0,0004406 / 1,025) \times 0,025 \times 20,97$ | = | 0,0002 | kW |
| Toplam        |   | = | 1,410  | kW |
| Isı çıkışı :  |   |   |        |    |
| 4 noktasından | $0,0045603 \times 49,2$                         | = | 0,224  | kW |

Absorber net ısı yükü = 1,186 kW

### **Jeneratör:**

Isı çıkışı :  
 1 noktasından 0,0041197 x 118 = 0,486 kW  
 6 noktasından 0,0004406 x 2605 = 1,148 kW  
 Toplam = 1,634 kW

Isı girişi  
 5 noktasından 0,0045603 x 84 = 0,383 kW

Jeneratör net ısı yükü = 1,251 kW

### **Yoğuşturucu**

Isı girişi :  
 6 noktasından 0,0004406 x 2605 = 1,148 kW

Isı çıkışı :  
 7 noktasından 0,0004406 x 125,79 = 0,055 kW

Yoğuşturucu net ısı yükü = 1,093 kW

### **Buharlaştırıcı**

Buharlaştırıcı ısı yükü = 1 kW

### **Sistemin ısı dengesi ve COP**

Isı girişi :  
 Buharlaştırıcı ısı yükü = 1 kW  
 Jeneratör net ısı yükü = 1,251 kW  
 Toplam = 2,251 kW

Isı çıkışı  
 Absorber net ısı yükü = 1,186 kW  
 Yoğuşturucu net ısı yükü = 1,093 kW

Toplam = 2,279 kW

Isıl dengedeki fark = % 1,24

**Soğutma tesir katsayısı :**

$$COP = \frac{\text{Buharlaştırıcı Net Isı Yüğü}}{\text{Jeneratör Net Isıtısı}} = 0,799$$

Ortalama %2 ısı kaybı halinde, COP = 0,783 elde edilir.

Dizaynda elde edilen ısı geçiş yüzeyinin büyüklüğüne ve pratikteki şartlara bağı olarak jeneratördeki ısı kaynağının gerçek sıcaklıkları değışebilir. Sistemde elde edilen soğuk suyun sıcaklığı ve soğutma kulesinden gelen suyun sıcaklığının sabit olmaması durumu için, jeneratörü besleyen buharın veya kaynar suyun sıcaklığındaki azalma, lityum bromid – su eriyiğı derişikliği ile sistemin soğutma tesir katsayısının (COP) düşmesine neden olur. Soğutma kulesinin düşük su sıcaklıklarında, jeneratörü besleyen ısı kaynağının sıcaklığının verilen bir dizayn sınırları içinde azalması durumunda bile, sistemdeki derişikler ve soğutma tesir katsayısı sabit kalır.

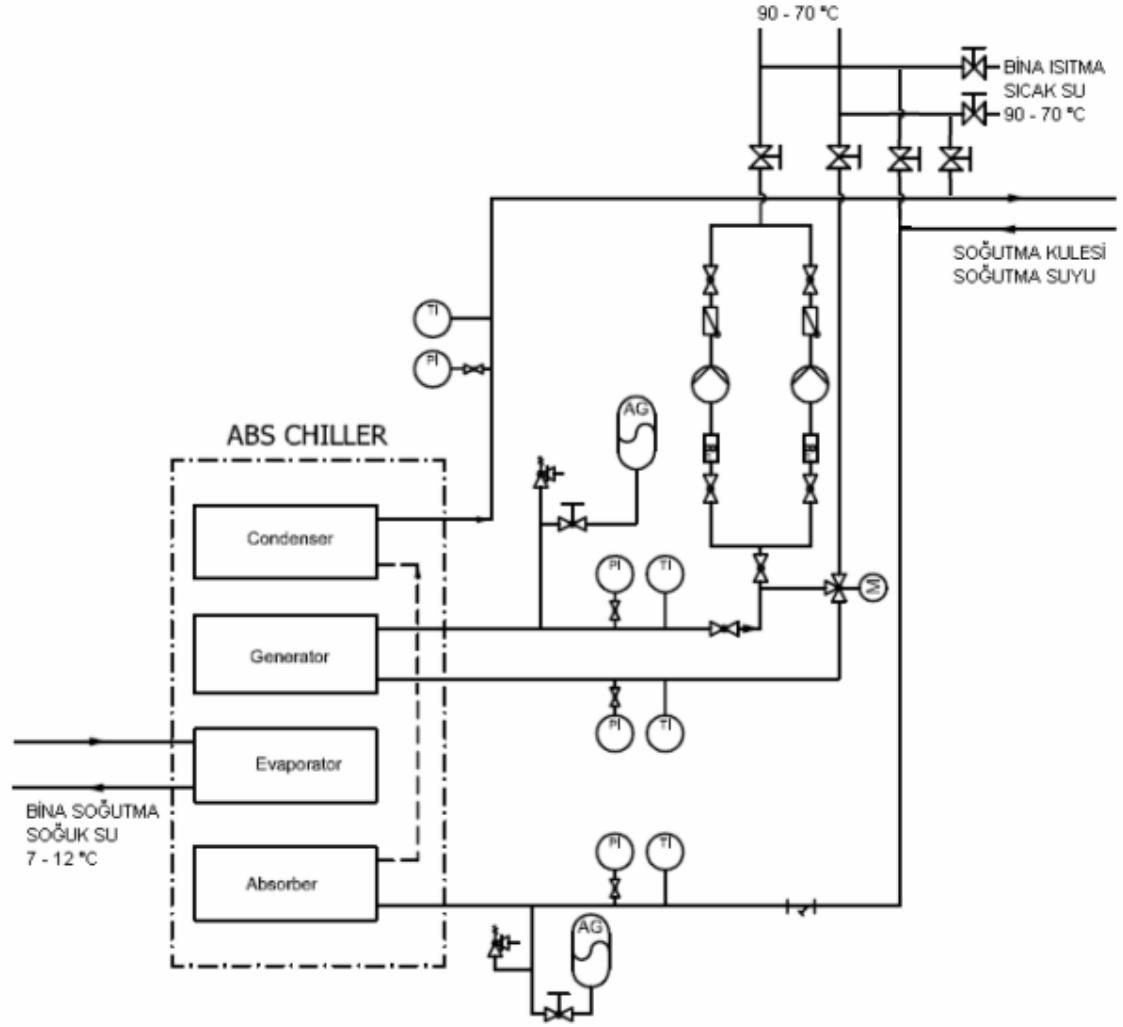
**Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi Kapasitesi:**

90 – 70 °C sıcak su kaynağı kapasitesi = 951 kW

1 kW soğutma yüğü için Jeneratör net ısı yüğü = 1,251 kW

Soğutma kapasitesi = 951 / 1,25

= 760 kW = 650.000 kcal/h



Şekil-21: Motordan gelen 90 – 70 °C sıcak su ile bina ısıtma ve absorpsiyonlu soğutma çevrimi ile bina soğutma yapılması

### 5.3. SİSTEM FİZİBİLİTESİ:

Güncel enerji ücretleri:

Doğalgaz : 22,0 €-cent / Nm<sup>3</sup>

Elektrik : 7,2 €-cent / kWh

Yıllık Çalışma saati :

Elektrik Üretimi : 9.000 h

Buhar üretimi 9.000 h

Bina Isıtma : 2.400 h

Absorbsiyonlu Chiller : 1.600 h

#### 5.3.1. TASARRUFLAR

##### 5.3.1.1. ELEKTRİK ÜRETİMİ

$$\begin{aligned} \text{Toplam Üretim} &= 2.000 \times 9.000 = 18.000.000 \text{ kWh / yıl} \\ &= 1.296.000 \text{ € / yıl} \end{aligned}$$

##### 5.3.1.2. BUHAR ÜRETİMİ

$$m = 1.390 \text{ kg/ h}$$

Buhar kazanı ile üretilecek olsaydı;

$$M_{\text{buhar}} \cdot (h_{\text{buhar}} - h_{\text{su}}) = V_{\text{Doğalgaz}} \cdot H_u \cdot \text{verim}$$

$$1.390 \times (2.776 - 427) = V_{\text{Doğalgaz}} \cdot 34.535 \cdot 0,92$$

$$V_{\text{Doğalgaz}} = 103 \text{ Nm}^3 / \text{h}$$

$$= 927.000 \text{ Nm}^3 / \text{yıl}$$

$$= 204.000 \text{ € / yıl}$$

### 5.3.1.3. BİNA ISITMA

$$Q = 818.000 \text{ kcal/h}$$

Bina ısıtma yükü buhar kazanından karşılanıyordu;

$$Q = V_{\text{Doğalgaz}} \cdot H_u \cdot \text{verim}$$

$$818.000 = V_{\text{Doğalgaz}} \cdot 8.250 \cdot 0,92$$

$$V_{\text{Doğalgaz}} = 107 \quad \text{Nm}^3 / \text{h}$$

$$= 256.800 \quad \text{Nm}^3 / \text{yıl}$$

$$= 56.000 \quad \text{€} / \text{yıl}$$

### 5.3.1.4. ABSORBSİYONLU SOĞUTMA

Soğutma kapasitesi : 760 kW

Devreden çıkan soğutma grubunun elektrik yükü : 253 kW

$$\text{Toplam Üretim} = 253 \times 1.600 = 405.000 \text{ kWh} / \text{yıl}$$

$$= 29.000 \quad \text{€} / \text{yıl}$$

### 5.3.2. İŞLETİM GİDERLERİ

$$\text{Yakıt tüketimi} : 511 \text{ Nm}^3 / \text{h} = 112,42 \text{ €} / \text{h}$$

$$\text{Yedek parça} : = 10,28 \text{ €} / \text{h}$$

$$\text{İç güç tüketimi} : 50 \text{ kw} / \text{h} = 3,6 \quad \text{€} / \text{h}$$

$$\text{Toplam} : = 126,3 \quad \text{€} / \text{h}$$

$$= 1.137.000 \quad \text{€} / \text{yıl}$$

### 5.3.3. FİZİBİLİTE SONUÇ

| SİSTEM                 | ÇALIŞMA SAATI | KAPASİTE         | TASARRUF / GİDER<br>€/ YIL |
|------------------------|---------------|------------------|----------------------------|
| Elektrik Üretimi       | 9.000 h       | 2.000 kW         | 1.296.000                  |
| Buhar Üretimi          | 9.000 h       | 1.390 kg buhar/h | 204.000                    |
| Bina Isıtma            | 2.400 h       | 818.000 kcal/h   | 56.000                     |
| Soğutma                | 1.600 h       | 760 kW           | 29.000                     |
| Toplam                 |               |                  | 1.585.000                  |
|                        |               |                  |                            |
| İşletim Giderleri      | 9.000 h       |                  | 1.137.000                  |
|                        |               |                  |                            |
| <b>YILLIK TASARRUF</b> |               |                  | <b>448.000</b>             |

Tablo-4: Yıllık tasarruf ve gider tablosu

Yatırım maliyeti : 980.000 €  
Yıllık Tasarruf : 448.000 €  
**Geri Dönüş Süresi : 2,2 yıl**

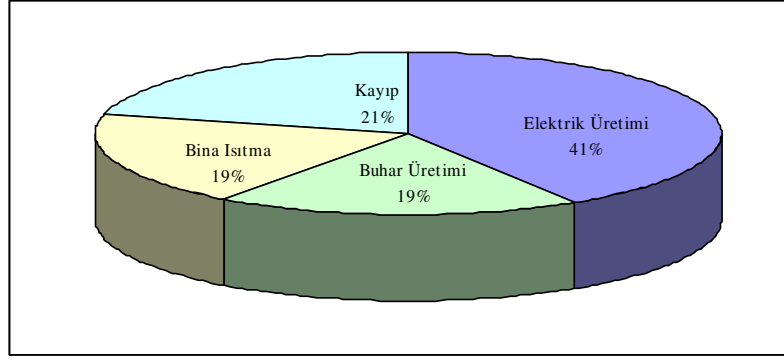
Giren Enerji : 511 Nm<sup>3</sup> /h doğalgaz x 8.250 kcal/Nm<sup>3</sup>  
: 4.215.750 kcal/h

Çıkan Enerjiler :  
Elektrik Üretimi : 2000 kW  
1.720.000 kcal/h  
**%41**

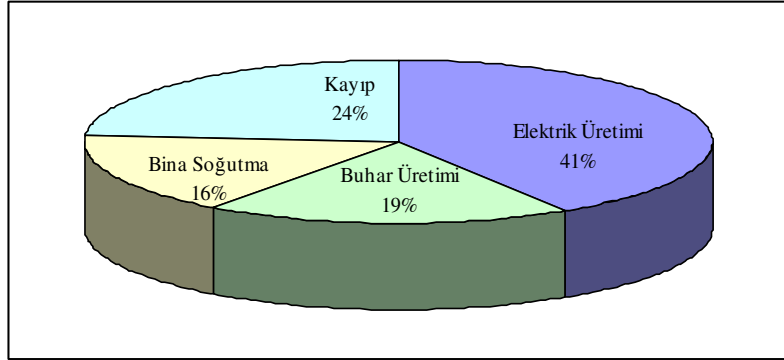
Buhar Üretimi : 1.390 kg buhar/h  
780.020 kcal/h  
**%19**

Bina Isıtma : 818.000 kcal/h  
**%19**

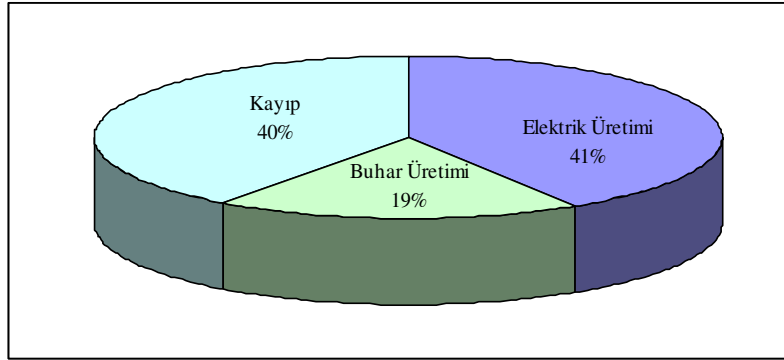
Bina Soğutma : 760 kW  
653.600 kcal/h  
**%16**



Şekil-22: Kış Dönemi Çalışma Verimleri



Şekil-23: Yaz Dönemi Çalışma Verimleri



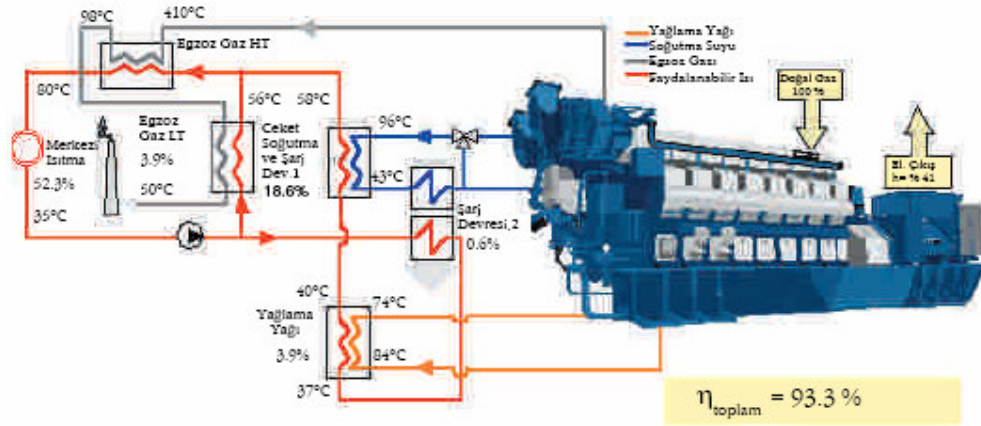
Şekil-24: Mevsim Geçiş Dönemi Çalışma Verimleri

Bu sistemde; mevcut fabrikada proses gereği fazla sıcak su olduğundan kullanım sıcak suyu elde edilmesi düşünülmemiştir. Atık ısı geri kazanım kazanı çıkışı egzost gazı halen önemli bir enerjiye sahiptir. Burada bir ekonomizer sistemi kullanılarak egzost gazı sıcaklığı 160 °C lere kadar düşürülerek atık ısıdan daha fazla yararlanabileceği gibi daha da önemlisi çevredeki konutların ısıtılması ve sıcak su ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için egzost gazı sıcaklığı 110 °C lere kadar düşürülerek atık ısıdan çok daha fazla yararlanılabilir.

Özetle; bir trijenerasyon sistemi kurulurken çevredeki konutları da kapsayacak bir sistem olarak değerlendirilmesi, kayıp verimi daha da düşürecek, toplam faydayı daha da artıracaktır.

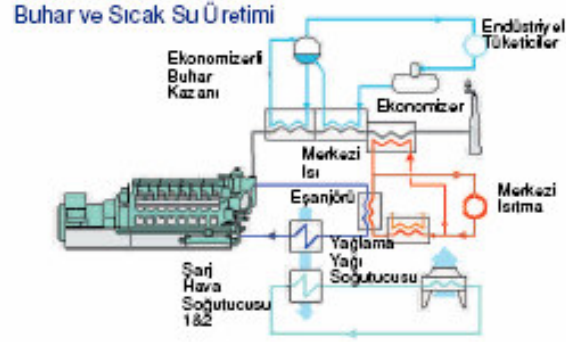
## 6. ÇEŞİTLİ KOJENERASYON UYGULAMALARI

Bu bölümde kojenerasyon sistemlerinden yararlanılarak kurulmuş çeşitli kojenerasyon sistemleri örnek olarak incelenecektir. Bir kojenerasyon ünitesine giren 100 birimlik enerji, 30-40 birim olarak elektriğe dönüşürken egzoz gazı, gövde soğutma gibi bir çok bölümden de % 50-60 'lar düzeyinde ısı enerjisine dönüşmektedir. Böylece, ideal bir projelendirme ile, şekil-8'de gösterildiği gibi %93'ler oranında birincil enerji kullanılabilir ikincil enerjilere dönüşebilmektedir. Bu bölümde inceleyeceğimiz şemalar motorlu sistemler olarak hazırlanmış ve sembolize edilmiştir, fakat bu uygulamaların hepsi türbin yada motor, fark etmez kısaca kojenerasyon uygulamalarıdır.



Şekil-25: Kojenerasyon sistemindeki toplam verim

Bir kojenerasyon sisteminde, giren yakıt yanma sonucu ısıl enerjisiye ve ana tahrik ünitesi olan Türbin yada Motor sayesinde hareket enerjisine ve tahrik ettiği jeneratörden de elektrik enerjisine dönüştürülür. Elektrik üretilirken, kojenerasyon sistemlerinin tahrik makinaları olan motor ve türbinlerin egzoz gazlarından ve motorların gövde, yağlama yağı ve turbo şarjör ünitesinin soğutmasından kazanılan ısı enerjisi buhar, sıcak su yada hem sıcak su hem buhar olarak günlük kullanıma sunulur. Bu çalışmanın devamında, elektrik üretiminin yanı sıra üretilen sıcak su ve/veya buhar ile gerçekleştirilmiş çeşitli kojenerasyon uygulamalarını inceleyeceğiz.

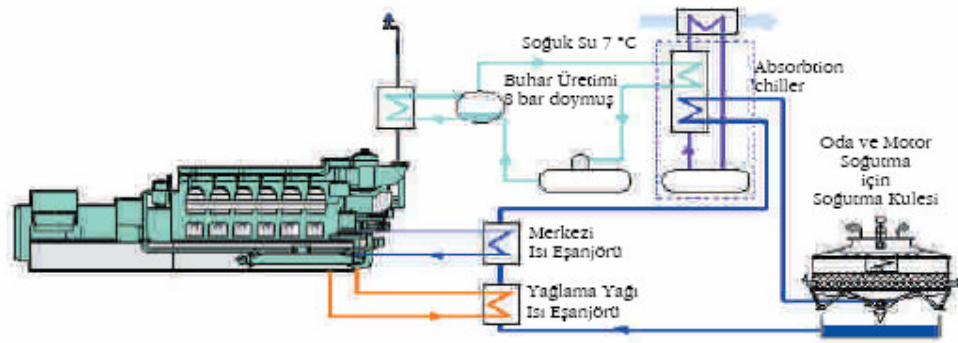


Şekil-26: Yağlama yağından sıcak su üretimi

## 6.1. ABSORBSİYON CHİLLER İLE SOĞUTMA

Vakumlu ortamda , sıcak su yada buhar ile karşılaşıldığında soğutucu etki gösteren LiBr kimyasalından yararlanılarak yapılmış olan Absorbsiyon Chiller'ler, kojenerasyon sistemlerinden elde edilen sıcak su yada buhar ile tahrik edildiğinde, tüketicilerin ihtiyacı olan soğutmayı da sağlayabilmektedir.

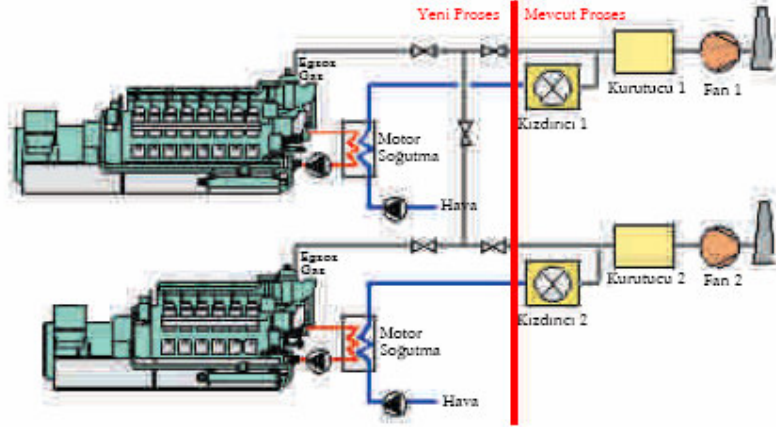
Bu prensip ile, hem elektrik hem de soğutma ihtiyacını karşılayan ve Tayland'da kurulmuş bir tesis örneği görmekteyiz.



Şekil-27: Absorbsiyonlu chiller ile kojenerasyon soğutma yapılması

## 6.2. KURUTMA HAVASI ÜRETİMİ

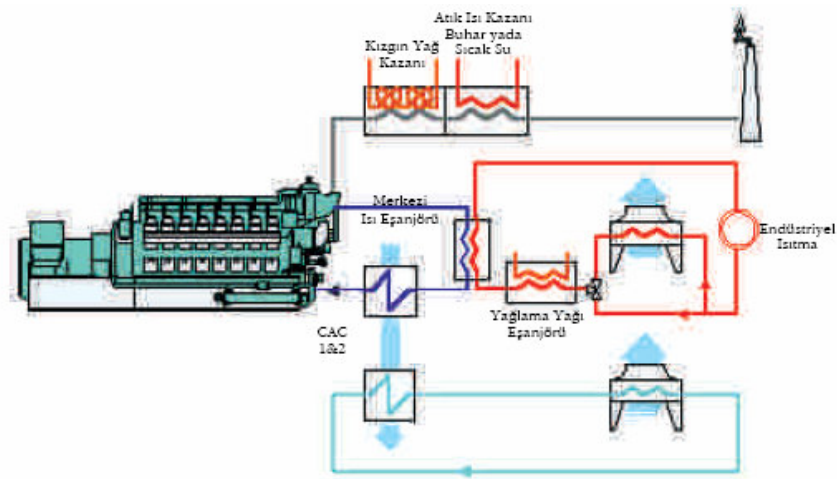
Mevcut prosesinde kurutma havası ihtiyacı olan Almanya'da kurulu bir tesis de, kojenerasyon sisteminden elektrik enerjisi üretilirken aynı zamanda geri kazanılabilir ısı enerjisi kaynaklarından sıcak hava üretilerek mevcut tesisin ihtiyacı olan kurutma havası sağlanmaktadır.



Şekil-28: Kojenerasyon sisteminde kızgın yağ elde edilmesi

## 6.3. KIZGIN YAĞ VE ENDÜSTRİYEL ISITMA

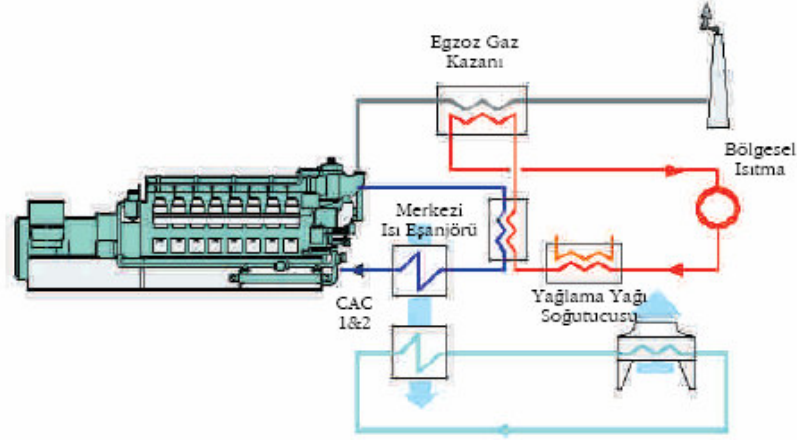
Elektrik enerjisi ihtiyacının yanı sıra, mevcut prosesinde kızgın yağ ve sıcak su ihtiyacı olan bir tesiste, kojenerasyon ünitesinin yüksek ısı devresinden yararlanılarak kızgın yağ ve düşük basınçlı buhar üretilmekte aynı zamanda kojenerasyon sisteminin düşük ısı devresinden ise endüstriyel prosesin ısıtmasında kullanılmak üzere sıcak su üretilmektedir.



Şekil-29: Kojenerasyon sisteminden kızgın yağ elde edilmesi

#### 6.4. MERKEZİ ISITMA

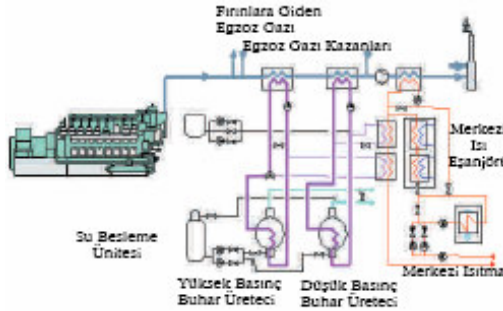
Bu projede elektrik enerjisinin yanı sıra, kojenerasyon sisteminden elde edilen sıcak su ile civardaki mevcut yerleşim birimlerinin ısıtılması amaçlı, merkezi ısıtma yapılmaktadır. Böylece, bir yerleşim biriminin hem elektrik, hem de ısıtma enerjisi ihtiyacı tek bir santralden sağlanmaktadır.



Şekil-30: kojenerasyon sistemi ile bölgesel ısıtma yapılması

#### 6.5. ENDÜSTRİYEL VE MERKEZİ ISITMA

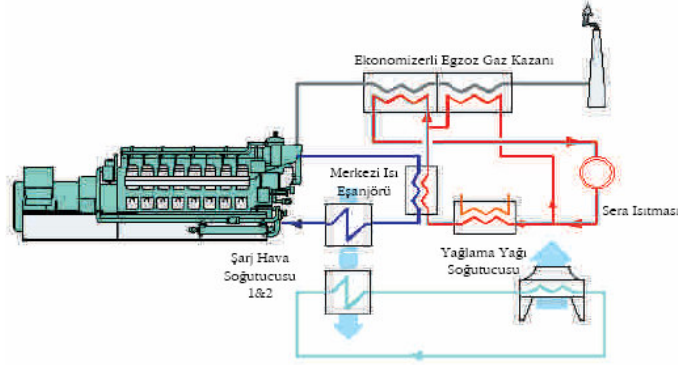
Finlandiya'da bir ekmek fırınında kurulmuş olan bu tesiste ihtiyaç olan elektrik enerjisi üretilirken, fırının ihtiyacı olan buhar düşük ve yüksek basınç olarak üretilmektedir. Aynı zamanda buhar sisteminden geri kalan ısıl enerji ise eşanjörler yardımıyla merkezi ısıtma amacıyla sıcak suya dönüşmektedir. Bu uygulamada, toplam çevrim verimini arttırmak için, ihtiyaç fazlası enerjinin komşular ile paylaşılması sayesinde güzel bir sosyal birliktelik örneği gerçekleştirilmiştir. Dileriz ülkemizde de, çevrim verimini yükseltmek amaçlı, ülke kaynaklarını koruma adına komşular arasında ortaklıklı kojenerasyon tesisleri kurulabilir.



Şekil-31: Ekmek fırını uygulaması

## 6.6. SERA ISITMASI

Danimarka'da kurulmuş olan bu tesiste, elektrik üretirken aynı zamanda üretilen ısı enerjisi ile de sera ısıtması yapılmaktadır. Bu uygulamada, kojenerasyon sistemi yardımı ile yaz-kış ekonomik olarak sabit sıcaklıkta ısıtma sağlanabilmekte dolayısıyla daha kaliteli ve fazla miktarda üretim yapılabilir.

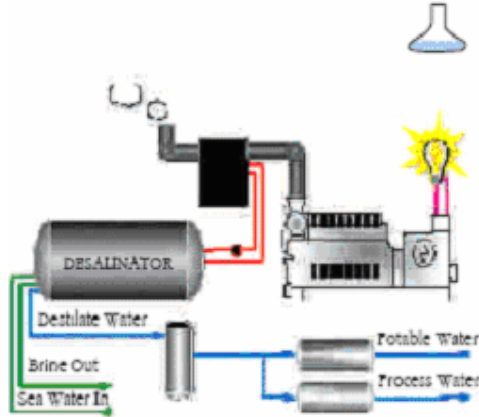


Şekil-32: sera ısıtılması

## 6.7. DESALİNİZASYON İLE SUYUN TUZDAN ARINDIRILMASI UYGULAMASI

Desalinatör sistemleri, atmosferik basınçtan daha düşük bir ortamda suyun kaynama noktasının düşmesi ilkesine dayanılarak yapılmışlardır.

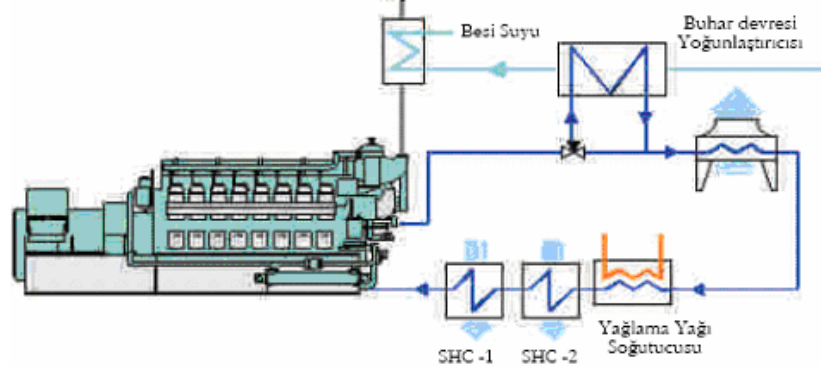
Desalinasyon ünitesine tuzdan ayırtılmak üzere alınan tuzlu deniz suyu, desalinasyon ünitesinde vakumlu ortamda, kojenerasyon ünitesinden elde edilen ısı enerjisi ile kaynatılıp tuzdan ayırtılabilir ve PH ayarlaması ve de kimyasal yumuşatmadan sonra içme ve kullanma suyu elde edilebilir.



Şekil-33: Deniz suyundan içme suyu elde edilmesi

## 6.8. ÇÖPLÜK GAZI UYGULAMASI

Hollanda'da yapılmış olan bu sistemin ilginçliği, sistemin projelendirme farklılığından ziyade kullandığı yakıttır. Yakıt olarak kullanılan gaz, çöplüklerin bozunması sırasında oluşan metan orijinli bir yakıttır. Çöplük gazları, ozon tabakasına ulaşır zarar vermesi yada depolandığı yerde patlayıp insanların ölümüne sebebiyet vermesi yerine elektrik ve ısı enerjisi üretmek amaçlı kojenerasyon sistemlerinde kullanılabilir.



Şekil-34: Çöplük gazından enerji elde edilmesi

**KAYNAKLAR**

Termodinamik ve Soğutma Çevrimleri, 1996, ASHRAE Temel El Kitabı,

Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, sayı 15, 2001

Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, sayı 22, 2002

Joel Hernandez-Santoyo, Augusto Sanchez-Cifuentes, Trigeneration: an alternative for energy savings, 2003, Applied Energy, volume76, Issues 1-3, Science Direct

Piero Colonna, Sandro Gabrielli, Industrial trigeneration using ammonia-water absorption refrigeration system, 2002, Applied Thermal Engineering, volume 23, Issue4, Science Direct

E.Teopa Cavla, M.Picon Nunez, M.A.Rodriguez Toral, Thermal integration of trigeneration system, 2004, Applied Thermal Engineering, volume 25, Issue 7, Science Direct

Prof. Dr. Ahmet Rasim Büyüktür, Termodinamiğin Temel Yasaları, cilt1-2

**ÖZGEÇMİŞ**

|              |            |  |
|--------------|------------|--|
| Doğum tarihi | 04.03.1976 |  |
| Doğum yeri   | İstanbul   |  |
| Lise         | 1993-1994  | Çorlu Lisesi   |
| Lisans       | 1994-1998  | Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.<br>Makina Mühendisliği Bölümü |

**Çalıştığı kurumlar**

|                   |   |
|-------------------|---|
| 1998-1999         | NurCAT Mühendislik                      |
| 2000-2001         | ARM Elektomekanik                       |
| 2003-Devam ediyor | Anadolu Efes Biracılık ve Malt San.A.Ş. |