

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞEKER FABRİKALARINDA ENERJİ GERİ KAZANIMI
SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Aykan İKİZOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Mustafa BAYHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
ISPARTA-2009**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda oybirliği/oy çokluğu ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT (imza)

S.D.Ü. T.E.F. Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

Üye: Prof. Dr. Mustafa BAYHAN (Danışman) (imza)

S.D.Ü. M.M. F. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Üye: Doç. Dr. Ali BOLATTÜRK (imza)

S.D.Ü. M.M. F. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

ONAY

Bu tez 19-01-2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

..../...../2009

Prof. Dr. Mustafa KUŞCU

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1 Kombine Çevrim.....	5
2.1.1 Kojenerasyon (birleşik ısı-güç) Tesisi.....	5
2.1.2 Kojenerasyon Tesislerinde Isıl Verim.....	8
2.1.3 Kombine Çevrimli Tesis.....	9
2.1.4 Kojenerasyon Tesislerinin Seçimi.....	11
2.1.5 Kombine Çevrim Tesisleri Ana Üniteleri.....	12
2.1.5.1 Gaz Türbinleri.....	13
2.1.5.2 Atık Isı Kazanı.....	13
2.1.5.3 Buhar Türbini.....	15
2.1.5.4 Jeneratörler.....	16
2.1.5.5 Kontrol Üniteleri.....	18
2.1.5.6 Yardımcı Üniteler.....	18
2.1.6 Kombine Çevrim Tesisleri Uygulamaları.....	19

2.1.6.1 İlave Yanmasız Kombine Tesisleri	19
2.1.6.2 Tam Yanmalı Kombine Çevrim Tesisleri.....	21
2.1.6.3 Paralel Güç Üniteli Kombine Çevrim Tesisleri.....	22
2.1.7 Kojenerasyon Sistemlerinin Kullanım Alanları.....	23
2.1.8 Kojenerasyon Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	24
2.1.8.1 Yakıt.....	24
2.1.8.2 Elektrik/ ısı Oranı.....	25
2.1.8.3 Yük Eğrisi.....	26
2.1.8.4 Start Sayısı.....	27
2.1.8.5 Ortam Sıcaklığı.....	27
2.1.8.6 Toplam Sistem Kapasitesi.....	27
2.1.8.7 Elektriğin Kalitesi.....	27
2.1.9 Kojenerasyonun Faydaları.....	28
2.1.10 Şeker Fabrikalarında Kojenerasyon Sistemi.....	29
2.1.11 Sürekli Akışlı Açık Sistemler.....	30
2.2 Pancardan Şeker Üretimi.....	32
2.2.1 Şerbet Üretimi.....	32
2.2.2 Şerbet Arıtımı.....	34
2.2.3 Şerbetin Koyulaştırılması.....	37
2.2.4 Şerbetin Kristallendirilmesi ve Şekerin Elde Edilmesi.....	39
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1 Tesisin Tanıtılması.....	41
3.2 Fabrikadaki Tesis Hesaplamaları.....	43
3.3 Yapılması Tasarlanan Tesis Hesaplamaları.....	49

3.3.1 Gaz Türbini Hesaplamaları.....	50
3.3.2 Gaz Türbini İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	56
3.3.3 Buhar Çevrimi Hesaplamaları.....	56
3.3.4 Buhar çevrimi İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	61
3.3.5 Kombine Çevrim Santralinin Ekonomik Analizleri.....	62
3.3.6 Kombine Çevrim Santralinin Ekonomik Analiz sonuçları.....	68
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	70
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	72
6. KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEKER FABRİKALARINDA ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Aykan İKİZOĞLU

**Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

Juri: Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT
Prof. Dr. Mustafa BAYHAN (Danışman)
Doç. Dr. Ali BOLATTÜRK

Gelişen teknoloji, nüfus artışı ve daha konforlu bir yaşam arzusu, insanoğlunun enerjiye olan talebini arttırmıştır. Artan bu talebi karşılamak için fosil kökenli enerji kaynaklarının kullanılmasına yoğun bir şekilde devam edilmektedir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının 50–100 yıllık bir geleceğinin kaldığı öngörülmekte olup, gelecekte insanoğlunu büyük bir enerji sorunu beklemektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar üç unsurun göz önünde bulundurulması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bunlar sırasıyla; üretilen enerjinin ekonomik olması, çevreye en az seviyede zarar vermesi ve uzun vadede enerji açığını karşılayabilmesidir.

Kombine çevrim santralleri, oldukça yüksek verimli sistemler olduğu için ve kullanılan yakıt açısından da çevresel etkilerinin kontrol edilebilir olması sebebiyle günümüzde değer kazanmıştır.

Genel anlamda kojenerasyon sistemi (birleşik ısı-güç üretimi) aynı anda elektrik ve ısı enerjisinin bir tekil ısı kaynağından üretilmesi olarak tanımlanabilir. Bu sistemin iki farklı uygulaması mevcuttur. Bunlar gaz türbinli kojenerasyon sistemleri ve buhar türbinli kojenerasyon sistemleridir.

Bu çalışmada, Alpullu Şeker Fabrikası mevcut buhar türbinli Kojenerasyon sisteminin yerine kombine çevrimli kojenerasyon sisteminin kurulması tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yeni sistemle Şeker fabrikasında üretilen ihtiyaç fazlası elektriğin ülke ekonomimize kazandırılması düşünülmüştür

Anahtar Kelimeler: Isı Geri Kazanımı, Kombine Çevrim, Kojenerasyon, Şeker Fabrikası.

2008, 77 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE RESEARCH OF REGENERATIVE ENERGY SYSTEMS IN SUGAR FACTORIES

Aykan İKİZOĞLU

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Mechanical Engineering Department**

Thesis Committee: Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT
Prof. Dr. Mustafa BAYHAN (Supervisor)
Assoc. Dr. Ali BOLATTÜRK

Improvement of Technology, increasing of the population and the desire of a more comfortable life, increased the need of energy of the people. To satisfy these needs it had been going on to use fossil based energy resources. It's prevised that fossil based energy end within 50-100 years, so a big deal of an energy problem waits people in the future. Reseaches about this problem determined 3 characteristics that are to be considered: the produce energy should be economic, it should give less encroachment to the environment as possible as it can be, it must be compensate the need of energy in long term.

Combine cycled power situations are high efficient power plants. They are controllable by means of the combustion and the emission of the combustion. There are two different applies refer to this plants. These are Gas turbine cogeneration systems and vapors turbine cogeneration systems.

In this study, It's been designed a combined cycled cogeneration system to be used in ALPULLU ŞEKER FABRIKASI neither the use of present vapors turbine cogeneration systems. By the design of this system remaining energy (after the factory compensates its needs) is planned to be given to interconnection energy system of TURKEY.

Key Words: Regeneration of Heat, Combine Cycles, Cogeneration, Sugar Factory

2008, 77 pages

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Kojenerasyon sistemlerinin tanıtımının yapıldığı ve sistemin ekonomik verimliliğinin ele alındığı bu çalışmada, Alpullu Şeker Fabrikası buhar türbinli Kojenerasyon sisteminin yerine kombine çevrimli kojenerasyon sisteminin kurulması tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yeni sistemle Şeker fabrikasında üretilecek olan ihtiyaç fazlası elektriğin ülke ekonomimize kazandırılması düşünülmüştür.

Bu çalışma sırasında değerli tavsiyeleriyle beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübeleriyle aşmamda yardımcı olan değerli danışmanım Prof. Dr. Mustafa Bayhan'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen hocalarım Doç. Dr. Ali Bolattürk ve Yrd. Doç. Dr. İbrahim Üçgül'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca bana yardımcı olan Alpullu Şeker Fabrikası çalışanlarına ayrı ayrı teşekkür ederim.

Sadece beni bu çalışmada değil, tüm hayatım boyunca bana her konuda destek olan, anlayışlarını ve sevgilerini esirgemeyen, beni yüreklendiren ve bana güvenen aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

Aykan İKİZOĞLU

ISPARTA, 2009

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Gaz ve buhar türbininden oluşan kombine çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması	7
Şekil 2.2 Kojenerasyon ve geleneksel sistemler ile enerji üretimlerinin sankey diyagramında gösterilmesi.....	9
Şekil 2.3 Kombine çevrimin (a) şematik gösterimi (b) T-s Diyagramı.....	12
Şekil 2.4 Gaz Türbini.....	14
Şekil 2.5 Atık ısı kazanı tasarım resmi.....	14
Şekil 2.6 Atık ısı kazanı.....	15
Şekil 2.7 Buhar türbini.....	16
Şekil 2.8 Buhar türbinli kojenerasyon sistemi.....	17
Şekil 2.9 Farklı tip karşı basınç türbinleri.....	17
Şekil 2.10 Tipik çok şaftlı kombine çevrim santralına ait kontrol sistem şeması.....	19
Şekil 2.11 Tek şaftlı kombine çevrim santralına ait kontrol sistemi şeması.....	20
Şekil 2.12 Buhar türbinli kojenerasyon üretim tesisinin enerji akışı.....	26
Şekil 2.13 Kombine çevrimli kojenerasyon tesisinin enerji akışı.....	26
Şekil 2.14 Karşı basınç buhar türbinli kojenerasyon sistemi.....	29
Şekil 2.15 Şeker fabrikası enerji akışının şematik olarak gösterilmesi.....	30
Şekil 2.16 Şeker fabrikası ürün akış şeması.....	33
Şekil 2.17 Şerbet üretimi ünitesi tesis şeması.....	34
Şekil 2.18 Şeker fabrikası rafineri ürün şerbet akış şeması.....	35
Şekil 2.19 Şerbet arıtımı tesisi şeması.....	37
Şekil 2.20 Düşey borulu bir buharlaştırıcı cihazının şematik gösterimi.....	40
Şekil 3.1 Şeker fabrikası enerji akım şeması	42

Şekil 3.2 Alpullu şeker fabrikası kazan dairesi	43
Şekil 3.3 Alpullu şeker fabrikası türbin dairesi	44
Şekil 3.4 Buhar türbininin açık hali.....	44
Şekil 3.5 Mevcut tesisin şematik gösterimi.....	45
Şekil 3.6 Gaz türbini şeması.....	51
Şekil 3.7 Yapılması planlanan enerji üretim tesisi şeması.....	51
Şekil 3.8 Gaz Türbini T-s grafiği.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Yakıtların fiyat ve verim olarak karşılaştırılması.....	25
Çizelge 3.1 Şeker fabrikası enerji tesisi hesaplamalarında kullanılan parametreleri..	45
Çizelge 3.2 Mevcut tesisin her aşamadaki değerleri.....	49
Çizelge 3.3 Mevcut tesis için elde edilen sonuçlar.....	50
Çizelge 3.4 Kombine çevrimli kojenerasyon sisteminin her aşamadaki değeri.....	62
Çizelge 3.5 Kombine çevrimli kojenerasyon tesisine ait genel bilgiler.....	63
Çizelge 3.6 Mevcut tesis ve kombine çevrimli tesisin karşılaştırılmaları.....	69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

T	Sıcaklık (° C)
\dot{V}	Hacimsel debi (m ³ /h)
Bx	Briks (Şerbet içerisindeki kuru madde oranı)
η_k	Kompresör verimi
η_t	Türbin verimi
η_K	Kazan verimi
η_{yo}	Yanma odası verimi
η_j	Jeneratör verimi
$\eta_{GÇ}$	Gaz çevrimi ısı verimi
η_m	Tesisin mekanik verimi
r_p	Sıkıştırma oranı
k	Özgül ısıların oranı
w_k	Kompresör işi (kJ/kg)
w_t	Türbin işi (kJ/kg)
C_p	Gazların sabit basınçta özgül ısısı
w_{net}	Gaz çevriminden elde edilen net iş (kJ/kg)
q_{yo}	Yanma odasına verilen ısı (kJ/kg)
H_u	Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)
\dot{V}_y	Yakıt tüketimi (m ³ /h)
\dot{V}_{h+y}	İş akışkanının debisi (m ³ /h)
\dot{V}_h	Egzoz gazı debisi (m ³ /h)
λ	Yakıt/hava oranı
ϵ_y	Enerjiden yararlanma oranı
P	Basınç (Bar)
h	Entalpi (kJ/kg)
\dot{Q}_k	Buhar kazanı ısı ihtiyacı (kWh)
\dot{m}_b	Üretilen buhar miktarı (kg/h)
\dot{V}_{y2}	Buhar kazanı yanma odasına verilen gaz miktarı (m ³ /h)

\dot{V}_{h2}	Buhar kazanına verilmesi gereken hava miktarı (m^3/h)
ΔT_s	Türbindeki sıcaklık değişimi ($^{\circ}C$)
v	Özgül hacim (m^3/kg)
\dot{W}_{el}	Gaz türbininden üretilen güç (kW)
\dot{W}_{el1}	Öncü türbinden üretilen güç (kW)
\dot{W}_{top}	buhar türbinlerinden üretilen güç (kW)
\dot{W}_{TOP}	Tesiste üretilen toplam güç (kW)
\dot{W}_p	Pompa gücü (kW)
$\dot{W}_{ısı}$	Tesiste kullanılan ısı güç (kW)
P_{bes}	Besleme suyu basıncı (bar)
h_{bes}	Besleme suyu entalpisi (kJ/kg)
\dot{m}_y	Tesisin yakıt sarfiyatı (kg/h)
\dot{m}_h	Tesisteki yakma havası sarfiyatı (kg/h)
M	Maliyet (TL/kWh)
TYM	Tesisin toplam yatırım maliyeti (TL/h)
$E_{\dot{u}}$	Tesisin yıllık enerji üretimi (kWh/yıl)
t	Tesisin yıllık çalışma süresi (h)
E_t	Tesisin yıllık elektrik tüketimi (kWh/yıl)
E_{net}	Tesisteki yıllık net elektrik üretimi (kWh/yıl)
C_{el}	Tesisin yıllık elektrik enerjisi kazancı (TL/yıl)
$C_{ısı}$	Tesisin yıllık ısı enerjisi kazancı (TL/yıl)
C_y	Tesisin yıllık yakıt gideri (TL/yıl)
C_{IM}	Tesisin ısı enerjisi maliyeti (TL/ kWh)
C_{EM}	Tesisin elektrik enerjisi maliyeti (TL/kWh)
C_M	Tesisin enerji maliyeti (TL/kWh)
C_F	Doğal gazın m^3 fiyatı (TL)
C_{KG}	Tesisin kurulu güç fiyatı (TL/kWh)
C_{ES}	Elektrik satış fiyatı (TL/kWh)
C_{kar}	Tesisten satılan yıllık elektrik enerjisi tutarı (TL/yıl)
C	Amortisman oranı

i	Yıllık faiz
n_A	Tesisin kullanım süresi (yıl)
C_A	Yıllık amortisman maliyeti (TL/yıl)
C_b	Santralin bakım ve işletme gideri (TL/yıl)
f_m	Garantili bakım antlaşması bedeli (TL/kWh)
g	Giren
$\ç$	Çıkan
GÖS	Yatırımın kendini geri ödeme süresi (yıl)

1. GİRİŞ

Teknolojik açıdan gelişmemiş ülkeler henüz kendi yapılarına uygun enerji politikalarını belirleyememişlerdir. Bu da bu ülkelerin en önemli dezavantajlarından biri olmaktadır. Bugün hala gelişmekte olan ülkemiz de ne yazık ki sağlıklı bir enerji politikasına sahip değildir. Ülkemiz aynı zamanda sınırlı enerji kaynaklarına sahip bir ülkedir. Bu nedenle son yıllarda enerjinin üretim ve kullanım aşamasında verimliliğin artırılması, kayıpların en az düzeyde tutulması daha fazla önem kazanmaya başlamıştır.

Son yıllarda görülen enerji krizleri ile birlikte artan enerji fiyatları bilim adamlarını ve endüstriyel sanayi kuruluşlarında çalışan mühendisleri enerjinin daha verimli kullanılma yollarını araştırmaya yönlendirmiştir. Enerji talebini azaltmanın en etkili yolu enerjiyi daha ekonomik kullanmaktır.

Primer yakıt rezervlerinin azaldığı ve global rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak, kaçınılmaz olmuştur. Bu anlamda kojenerasyon günümüz çağdaş "enerji yönetimi" teknikleri içinde ön sıralarda yer almaktadır. Kojenerasyon kısaca, enerjinin hem elektrik hem de ısı formlarında aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu birliktelik, iki enerji formunun da tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik neticeler oluşturmaktadır. Basit çevrimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motorun kullandığı enerjinin % 30–40 kadarını elektriğe çevirebilir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir bölümü de kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin % 70–90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu tekniğe "birleşik ısı-güç sistemleri" ya da kısaca "kojenerasyon" diyoruz.

Şeker fabrikalarında kullanılan ısı ve elektrik enerjisi genelde fabrika içerisinde yer alan kazan ve türbin dairesinden oluşan tesislerden sağlanmaktadır. Yani şeker fabrikaları kojenerasyon tesislerdir. Şeker fabrikalarında kazanlardan elde edilen yüksek basınçtaki buhar, (18–100 bar) buhar türbininden geçirilerek fabrikaların kullanacağı elektrik enerjisi elde edilmektedir. Türbinlerden çıkan düşük basınçtaki

buhar ise proses içerisinde ısı enerjisi kaynağı olarak kullanılır. Ancak bu durumun istisnaları da olabilir. Elektrik enerjisinin fiyatına, ısı enerjisinin maliyetine bağılı olarak elektriğini dışarıdan satın alan, tükettiğinden fazla elektrik enerjisi üreterek dışarı elektrik enerjisi satan şeker fabrikaları da bulunmaktadır.

Bu çalışmada Alpullu Şeker Fabrikası mevcut enerji üretim tesisinden bir bölümünün modernizasyonuna gidilerek fabrikanın üreteceği elektrik enerjisinin kullanım fazlasının pancar kampanyası dönemi boyunca dışarı satılarak ülke ekonomisine katkıda bulunulması düşünülmektedir.

Bu amaçla şeker fabrikasında bulunan 2 adet 16 t/h buhar üretim kapasitesine sahip katı yakıtlı buhar kazanının yerine, kombine çevrimli kojenerasyon tesisi tasarlanmıştır. Tasarlanan tesiste yakıt olarak doğal gaz kullanılacaktır. Tasarlanan tesiste ilk olarak gaz türbininden elektrik enerjisi üretilecektir. Gaz türbinlerinden çıkan atık gaz sisteme eklenecek olan yüksek basınçlı buhar kazanı aracılığıyla tekrar ısıtılarak üretilen buhar yüksek basınçlı buhar türbininden geçirilerek 18 bara düşürülecektir. Türbinden çıkan yüksek basınçlı buhar mevcut sistemdeki buhar türbinlerine gönderilerek elektrik üretimine devam edilecektir. Buradaki türbinlerden çıkan buhar ısı enerjisinden faydalanmak amacıyla şeker fabrikası tesisinde kullanılmak üzere fabrikaya gönderilecektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kojenerasyon kelime anlamı olarak “combined generation” terimlerinin kısaltmasından oluşmuştur. Isı ve elektriğin birlikte üretildiği “birleşik üretim” anlamına gelmektedir. Kojenerasyon konusunda yapılan çok sayıda araştırma mevcuttur kojenerasyon çalışmalarının ilk basit örnekleri 20. yüzyılın ilk yarısında görülmektedir. Kojenerasyon sisteminin endüstride ilk uygulama alanları kimya fabrikaları, kâğıt ve şeker fabrikalarıdır. (Akdeniz, 2007)

Eriten, (1998) “Doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santrallerinin termik ve ekonomik analizi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında kombine çevrimin termodinamik ve ekonomik analizini yapmış, diğer tesislerle ekonomik kıyaslamasını incelemiştir.

Sürer, (2003) çalışmasında elektrik üretimi için birleşik gaz/buhar türbini kullanan ve ısı üretimi için buhar türbininden ara buhar çeken bir kombine kojenerasyon tesisini incelemiştir.

Nurveren, (2001) “Şeker fabrikası buharlaştırma sistemlerinin ekserji analizi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında Bor şeker fabrikasında üretilen proses buharının kullanıldığı tüm üretim birimlerini ekserjistik yönden incelemiş, şeker fabrikalarındaki ısı verimi arttırmak için faydalı tanılar ortaya koymuştur.

Karakaş, (2002) “Doğal gaz ile elektrik enerjisi üretimi ve ekonomik analizi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında mevcut elektrik üretim santralleri çevresel etkileri ve bu etkilerin giderilme yöntemlerini belirtmiştir. Ayrıca kombine çevrim santrallerinin avantajları ve kombine çevrim uygulamaları anlatılıp, bir kombine çevrim santrali tasarlamıştır.

Ergezen, (2001) çalışmasında kojenerasyonun tanımı yapılarak tarihçesi anlatılmış, kojenerasyon teknolojileri hakkında bilgiler verilerek Türkiye’deki ve Dünya’daki durumunu açıklamıştır. Ayrıca kojenerasyon sistem tasarımı anlatılıp örnek uygulamalar incelemiştir.

Aydeniz, (2007) "Doğal Gazlı kojenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi ve Süleyman Demirel Üniversitesi Örneği", isimli makalesinde kojenerasyon sistemlerini açıklamış, kojenerasyon teknolojileri hakkında bilgiler vermiş ve Süleyman Demirel Üniversitesi'nin elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere gaz türbinli bir kojenerasyon tesisi tasarımını yapmıştır.

Orhan, (2003) çalışmasında kojenerasyon teknolojisi hakkında bilgiler verilmiş, Türkiye ve Dünya'daki kojenerasyon uygulamaları açıklanmıştır. Ayrıca kojenerasyon sistem tasarımı yapılarak incelenmiştir.

Tekeli, (2003) "Gaz türbinli birleşik ısı-güç üretim sisteminin termodinamik çözümlemesi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında; endüstri tesislerinin, toplu yerleşimlerin ısı ve elektrik enerjisi ihtiyaçlarının karşılanmasında yaygın olarak kullanılan gaz türbinli birleşik ısı güç sistemlerini incelemiştir. Bu amaçla uygulama örnekleri ve ekserji analizi hesaplamalarını yapmıştır.

Ünver ve Kılıç, (2005) " bir kombine çevrim güç santralının termodinamik analizi" isimli makalelerinde doğal gaz yakıtlı bir kombine güç santralının performans güç değişim miktarlarının yük ve çevre koşullarına bağlı olarak analizini yapmışlardır.

Çalışıcı, (2005) çalışmasında kojenerasyon sistemlerinin tanıtımını yapmış, kojenerasyon tesisleriyle diğer tesisler arasında karşılaştırmalar yaparak, kojenerasyon tesislerinin üstünlüklerini ortaya koymaya çalışmıştır.

Sönmez, (1998) "Kojenerasyon teknolojisi ve bir kombine çevrim santralinde çalışma şartlarının belirlenmesi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında kojenerasyon sistemi tanıtılarak, bir kombine çevrim tesisi için termodinamik ve ekonomik analizler yapmıştır.

Özgürel ve Egeli, (1996) “Doğal gaz yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri” isimli makalesinde kombine çevrim santralleri uygulama, yöntem, alanlarını açıklamışlardır. Ayrıca çevreye zararlı madde emisyonlarını incelemişlerdir.

Işık ve İnallı, (2005) “ Kojenerasyon ve bölgesel ısıtma sistemlerindeki gelişmeler” isimli makalesinde bölgesel ısıtma ve kojenerasyon sistemlerinin dünyadaki gelişmeleri ve önemi anlatılmıştır. Ayrıca bölgesel ısıtma kullanılan tesis türleri ve kojenerasyon tesislerinin avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.

2.1 Kombine Çevrim

Kombine çevrim ve kojenerasyon teknolojisi, birleşik ısı ve güç sistemini ortaya koymuştur. Kombine çevrim gaz türbin çevrimi ve buhar çevriminin bir sistem içerisine alınarak birbirlerini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade etmektedir. Kombine çevrimin genel prensibi ise gaz türbin çevriminden çıkan egzoz gazlarının yüksek dereceli ısılarının su/buhar çevriminde kullanılarak ek bir enerji üretiminin sağlanmasına dayanmaktadır. Kombine çevrimlerde birincil olarak elektrik üretimi sağlanmakla birlikte, istenirse çevrimden ara buhar alınarak sistem kojenerasyon birleşik- ısı güç) sistemi olarak ta çalıştırılabilir. Bu sebeple kombine çevrimler, ısı-güç üretiminde en verimli yöntem olarak kullanılmaktadırlar (Karakaş, 2002).

2.1.1 Kojenerasyon (birleşik ısı-güç) Tesisi

Primer yakıt rezervlerinin azaldığı ve küresel rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari girdileri sağlamak kaçınılmaz olmuştur. Kojenerasyon, enerjinin hem elektrik hem de ısı formunda aynı sistemden beraberce üretilmesidir. Bu birliktelik, iki enerji türünün ayrı ayrı üretilmesinden daha ekonomiktir. Bu sistemlerde, ısı ve elektrik birlikte üretildiğinden ülkemizde " birleşik ısı ve güç üretim sistemleri " olarak da isimlendirilir. Kojenerasyonun amacı, elektrik üretiminde atık gaz enerjisini, sanayi ve konutların ihtiyacı doğrultusunda kullanılmasına olanak vererek, toplam verimin artmasını sağlamaktır. Kojenerasyon sanayide, doğal gaz, petrol türevi gazlar (LPG, nafta, propan v.s) dizel veya ağır

yakıtlar ve kömür gibi birincil yakıtlardan birini kullanarak elektrik ve ısı elde edilmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

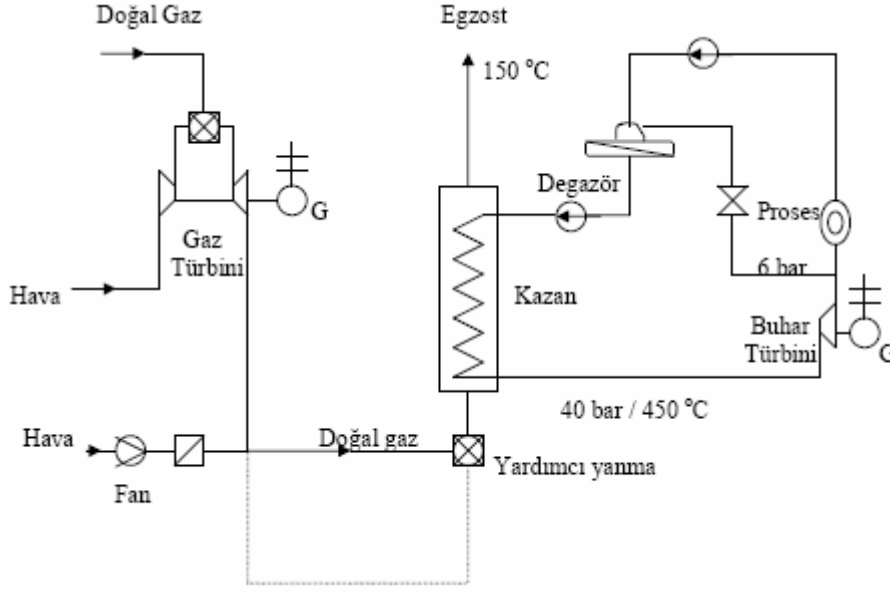
Dünyadaki birincil yakıt rezervlerinin hızla azalması ve yakın bir gelecekte de tükeneceğine yönelik öngörülerin olması, bu yakıt rezervlerinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Enerjinin etkin kullanımı, refah seviyesinde herhangi bir fedakârlık yapılmaksızın kalite ve performansı düşürmeden, kullanılacak olan ısı ve elektrik enerji miktarının azaltılmasıdır. Elektrik ve ısının bu şekilde bir arada üretilmesiyle, üretim maliyetleri minimum seviyeye inmekte ve kojenerasyon sistemin kullanan işletmenin rekabet gücü artmaktadır.

Bugün birçok işletme, elektrik enerjisi ihtiyacını ulusal şebekeden, ısıtma ve soğutma ihtiyacını ise kendi bünyesinde kurmuş olduğu tesislerden sağlamaktadırlar. Ancak, ulusal şebekeden alınan elektrik enerjisi yüksek maliyetli ve düşük kalitelidir. Bunun nedeni elektriğin düşük verimli konvansiyonel santrallerde üretilmesi ve uzun nakil hatları ile iletilmesidir. Bununla birlikte ısıtma ve soğutma ihtiyacı için ilave bir enerji sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, birleşik ısı güç santralleri, günümüz çağdaş üretim yöntemleri içinde ön sıralarda yer almaktadır (Orhan, 2003).

Kojenerasyon; tekstil, kağıt, seramik, kimya, sunta, cam, gıda ve metal işleme gibi ısı ve elektriğin yoğun olarak kullanıldığı sektörlerde enerjinin maliyetini yarı yarıya yakın düşürmekte ve bu sektörlerde rekabetin vazgeçilmez araçlarından biri olmaktadır. Ayrıca toplu konut ve organize sanayi bölgelerindeki kojenerasyon uygulamaları çok başarılı sonuçlar vermektedir.

Kojenerasyon tesislerinin seçiminde genelde iki tür yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar fabrika elektrik ihtiyacına göre ya da fabrika ısıl ihtiyacına göre tasarımıdır. Genellikle fabrika ısıl gücünün tamamını, atık ısının geri kazanımıyla sağlayacak santraller fabrika elektrik ihtiyacının çok üstünde elektriksel güç üretmekte ve bu yüzden fazla elektriksel enerjinin şebekeye satılmasının karlı olduğu batılı ülkelerde bu yöntem tercih edilmektedir. İhtiyaç duyulan tüm ısı tesisten üretilmekte, fazla

olan elektrik satılmaktadır. Türkiye gibi, üretilen elektriğin şebekeye satılmasının pekte karlı olmadığı ülkelerde ise, fabrika elektrik ihtiyacının karşılanacağı büyüklükte elektrik üretecek santraller tasarlanmakta ve geri kazanılan ısı ile fabrika ısı merkezine destek olunmaktadır. İhtiyaç duyulan elektrik üretilmekte, eksik kalan ısı ihtiyacı fabrika ısı merkezinde üretilmeye devam edilmektedir.



Şekil 2.1 Gaz ve buhar türbininden oluşan kombine çevrim kojenerasyon tesisi prensip şeması (Anonim,2008).

Atık ısıdan çok çeşitli faydalanmak mümkün olabilmektedir. Buhar, sıcak su, kızgın su, egzoz gazlarıyla direkt kurutma (seramik ve sunta prosesleri), absorpsiyonlu soğutma makineleri ile çiller suyu elde edilmesi, kızgın yağ elde edilmesi, atık ısıyla tekrar elektrik üretilmesi gibi seçenekler kojenerasyon tekniğinde kullanılmaktadır.

Kojenerasyon, genellikle son 10 yılda muazzam bir kullanım sahası bulmuş 20 yılı aşkın bir süredir dünyada başarıyla uygulanan ve sürekli teknik gelişmelerle desteklenen bilinen en verimli enerji üretimidir (Anonim,2008).

Kojenerasyon sistemi bu emsalsiz veriminin ve dolayısıyla üretilen birim enerji başına atmosfere atılan emisyonları ciddi bir oranda azaltması ile çevre açısından

gittikçe daha duyarlı hale gelen dünyanın enerji üretim sistemleri içinde göz bebeği olmuştur, halen de bu statüsünü korumaktadır.

Günümüzde, kojenerasyona olan ilginin tekrar artmasının pek çok nedeni vardır. Bunların başında, elektrik ihtiyacının hızla artması, ek üretim kapasitesinin uluslar arası otoriteler tarafından finanse edilmesi, çevre kirliliği ve emisyonların belli değerlere oturtulması gelmektedir. Tesislerini geliştirmeyi planlayan, yeni endüstriyel alanlarda gelişmek isteyen veya enerji kaynakları çok olan ya da ürettiği gücü satmak isteyen endüstriyel tesislere, kojenerasyon sistemi önerilmektedir.

Yurdumuz bu açıdan Avrupa ülkelerinin henüz çok gerisinde olmasına karşın, doğal gaz temin politikalarında kaydedilecek gelişmelerle karşısında durulamayacak bir talep patlamasını muhakkak yapacak; bu çerçevede sistemin yararlarını zamanında görmüş, yatırımını zamanında yapmış müesseseler bundan büyük karlar edecek, rakiplerinin önüne geçeceklerdir.

Kojenerasyon sistemlerine yaygın ilgi ülkemizde beklenen enerji krizi ve şebekedeki elektriğin kalite problemleri nedeniyle yaygınlaşmamışsa da sonunda bu sistemler verimlilikleri, sağladıkları ekonomi ve rekabet gücüne katkıları nedeniyle sanayimizde hak ettikleri konuma erişeceklerdir.

2.1.2 Kojenerasyon Tesislerinde Isıl Verim

Basit çevrimle çalışan, sadece elektrik enerjisi üreten bir sistemde verim %30–40 iken, kombine çevrimde en fazla % 55'e kadar çıkmaktadır. Yani kullanılan enerjinin en fazla % 55'lik kısmı elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Geriye kalan kısmı ise atık ısı olarak çevreye verilmekte ve bu enerjiden yararlanılamamaktadır (Eriten, 1998).

Oysaki kojenerasyon sisteminin kullanılması durumunda dışarı atılacak olan atık ısı enerjisinin büyük bir bölümü sıcak su, buhar, absorpsiyonlu soğutma gibi kullanılabilir enerji formlarına dönüştürülerek, kullanılan toplam enerjinin % 70–

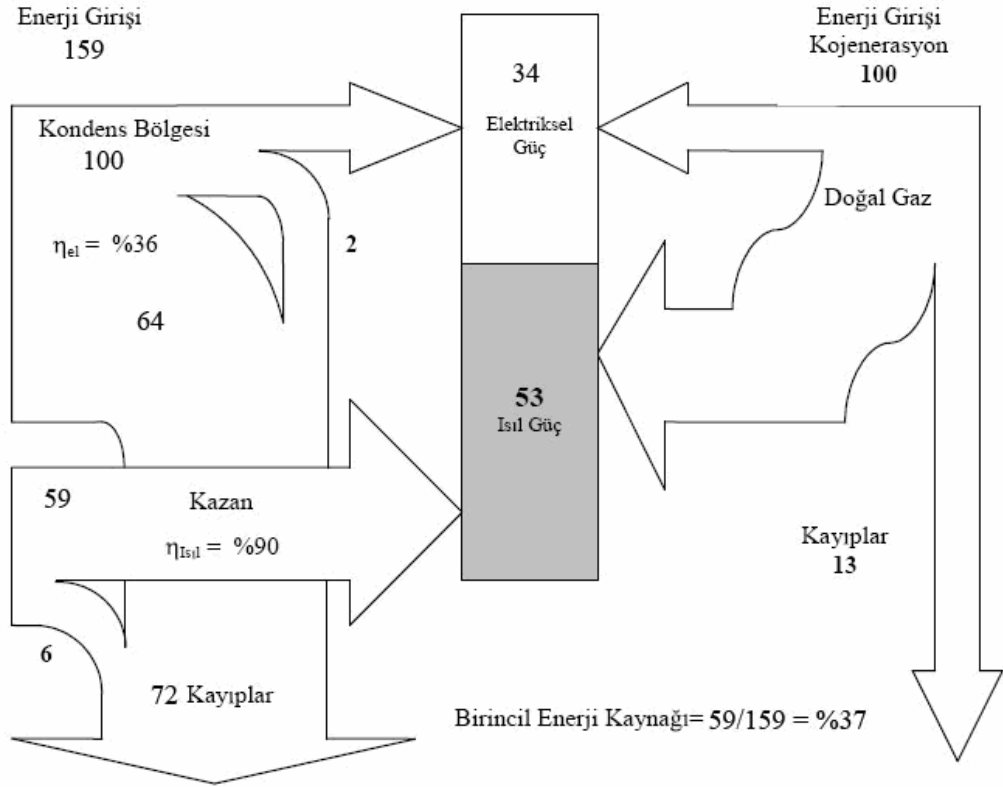
90'lık kısmının değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu şekilde birincil enerjinin, yani kullanılan yakıt kaynaklarının, atılan kısmı minimize edilmektedir. Bu yüksek sistem verimi sayesinde kojenerasyon sistemi ilk tesis ve kuruluş maliyetini 2–5 yıl gibi kısa bir sürede geri ödeyebilmektedir. (Orhan, 2003).

Günümüz teknolojisinde kombine çevrim ve kojenerasyon daha çok gaz türbinli santrallerde uygulanmakta olup, yakıt olarak petrol türevleri, doğalgaz, kömürden veya biokütleden elde edilen sentetik gaz kullanılmaktadır. Doğalgaz santralleri tümüyle kombine çevrim santralleri olarak kurulmaktadır. Kojenerasyon ve geleneksel sistemler ile enerji üretimlerinin sankey diyagramında gösterimi şekil 2.2'deki gibidir.

2.1.3 Kombine Çevrimli Tesis

Kombine çevrim terimi, gaz türbin çevrimi ve buhar çevriminin bir sistem içine alınarak birbirini tamamlayıcı şekilde çalıştırılmasını ifade eder. Genel prensibi, gaz türbin çevriminden çıkan egzoz gazının yüksek enerjisi, Rankine çevriminde kullanılarak ek bir enerji üretiminin sağlanmasına dayanmaktadır. Kombine çevrimli sistem, ısı güç üretiminde günümüzde geçerli olan en verimli yöntem konumundadır. Kombine çevrim tesislerde, atık ısının buhar türbininde değerlendirilmesiyle, sistemden elde edilen toplam güç, konvansiyonel tesislerden daha yüksektir. Bu nedenle özellikle gaz türbinli kombine çevrim uygulamalarında 1980'li yıllardan itibaren büyük bir artış olmuştur.

Kombine çevrim santralinin çalışma prensibi genel olarak şu şekilde özetlenebilir. Atmosferden alınan hava, bir filtre sisteminden geçirildikten sonra gaz türbininin kompresör kısmına girer ve burada sıkıştırılarak yanma odasına iletilir. Yanma odasına püskürtülerek verilen yakıt, sıkıştırılmış hava ile karıştırılarak yanar. Yanma sonucu oluşan 1000–1100 °C sıcaklığın üzerindeki yüksek basınçlı gaz, türbin kanatçıklarından geçerek türbini döndürür ve türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir. Gaz türbininden çıkan 500–600 °C sıcaklığındaki atık gaz bir egzoz kanalıyla atık ısı kazanına iletilir. Egzoz gazı, atık ısı kazanına girerek soğur ve daha sonra kazan bacasından atmosfere atılır.



Şekil 2.2 Kojenerasyon ve geleneksel sistemler ile enerji üretimlerinin sankey diyagramında gösterilmesi. (Işık ve Erdem, 2005)

Atık ısı kazanında, genel olarak üç ayrı ısı eşanjör bölümü bulunur. Rankine çevriminde, su ilk önce kazanın “ekonomizer” bölümüne girer ve doyma sıcaklığının çok az altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır, daha sonra “evaporatör” bölümünde buhar haline dönüşür ve bu doymuş buhar “kızdırıcı” bölümünde tekrar ısıtılarak kızgın buhar olarak buhar türbinine verilir. Bu olay, tek basınç kademeli bir kazan buhar türbini grubu için verilen bir Rankine çevrimidir. Ancak, kazan-buhar türbini gruplarının tekrar kızdırmalı veya tekrar kızdırmaz, iki ya da üç basınç kademeli olmaları durumunda; ekonomizer, evaporatör ve kızdırıcı bölümleri her bir basınç kademesi için kazan içinde ayrı ayrı yer alır. Atık ısı kazanında üretilerek buhar türbinine verilen buhar, türbin kademelerinde genişler. Böylece, ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur. Türbinin tahrik edilmesiyle de türbine bağlı jeneratörden elektrik enerjisi üretilir.

Buhar türbininden çıkan düşük basınç ve sıcaklıktaki buhar kondensere gelir ve bu-

rada soğutma sistemi vasıtasıyla yağışturalarak, su haline dönüştürülür. Daha sonra, kondensat pompaları ile içlerindeki yoğuşmamış gazın alınması için besleme suyu tankına gönderilir. Bu şekilde, Rankine kapalı çevrimi; kazan, buhar türbini ve kondenser arasında sirküle eder (Eriten, 1998).

Yüksek verimi dışında kombine çevrim santrallerinin daha birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de kombine çevrimlerin birçok değişik alana hizmet verebilecek esnekliğe sahip olabilmesidir. Kombine çevrim santrallerinde elektrik üretimi yapılabildiği gibi, aynı zamanda ister kazandan isterse buhar türbininden alınacak ara buharın bölgesel ısıtmada ya da proste kullanımıyla santralde, % 85–90 civarında bir ısı verimlilik ile birleşik ısı güç sistemi olarak ta kullanılabilir (Karakas, 2002)

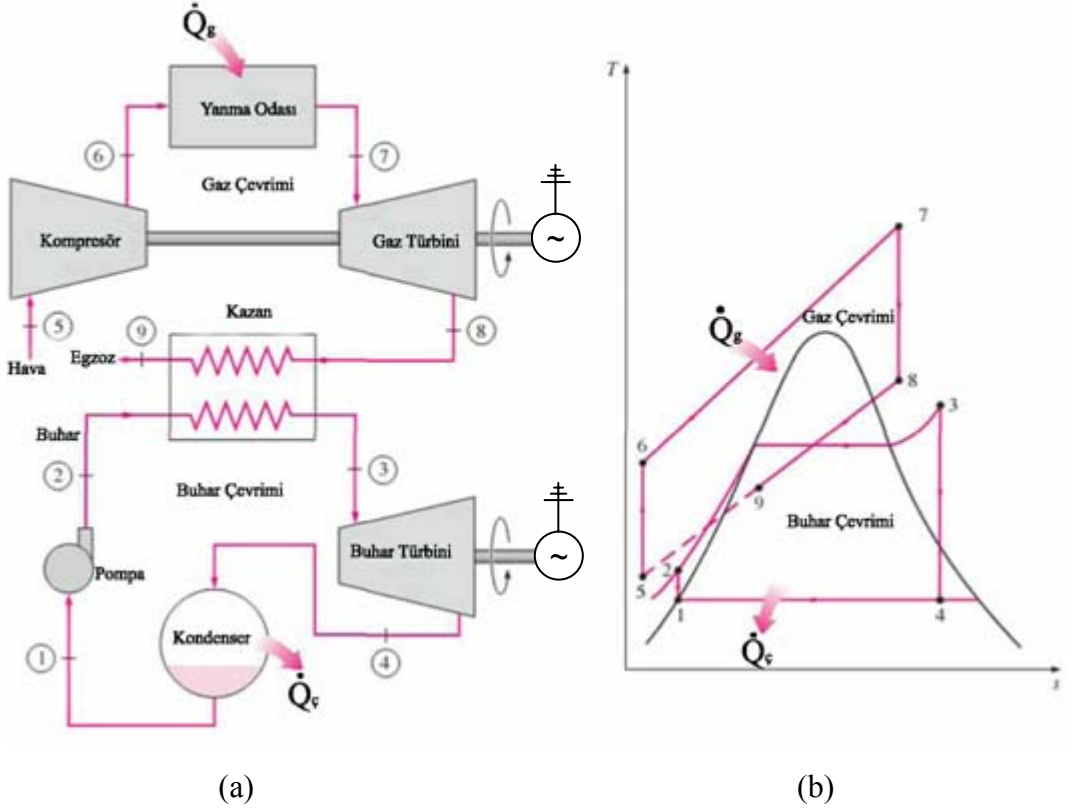
Kombine çevrimlerde doğal gazın her çeşidi, ham petrolden motorin ve fuel-oile kadar tüm sıvı yakıtlar ile kömür dâhil olmak üzere çok geniş bir yakıt kullanım olanağına sahiptir.

2.1.4 Kojenerasyon Tesislerinin Seçimi

Birleşik ısı ve güç santrallerinden maksimum verim elde edebilmek amacıyla, yatırımın yapılacağı tesiste gerekli olan ısı enerjisiyle tüketilen elektrik enerjisi arasında uygun değer dengenin sağlanması gereklidir.

Kojenerasyon sistemlerini, üretim önceliğine göre iki grupta toplamak mümkündür: Bunlardan birincisi; öncelikli elektrik üretim çevriminde, yakıt yakılır ve ısı ilk olarak elektrik üretmek için kullanılırken arta kalan ısı, ısıtma amaçlı veya endüstriyel proses üretiminde kullanılabilir. Tipik örnekleri, karşı basınçlı buhar türbin çevrimleri (kâğıt ve gıda sektöründe yaygın olarak), ara buhar çekmeli, türbin öncesi buhar çekmeli, gaz türbini ve atık ısı kazanlı, yüksek kondensasyon sıcaklıklı, dizel jeneratör ve gaz motorlu uygulamalar olarak sınıflandırılabilirler.

İkinci kojenerasyon yönteminde ise; ısı enerjisi üretim çevriminde, ısı ilk olarak yüksek sıcaklıkta endüstriyel süreç için kullanılırken, arta kalan ısı elektrik üretimi için kullanılır (Orhan, 2003).



Şekil 2.3 Kombine çevrimin (a) şematik gösterimi (b) T-s Diyagramı (Çengel ve Boles, 1996)

2.1.5 Kombine Çevrim Tesislerinin Ana Üniteleri

Bir kombine çevrimli elektrik santrallerinin başlıca üniteleri; gaz türbini-jeneratör ünitesi, atık ısı kazanı, buhar türbini-jeneratör ünitesi ve kontrol ünitesidir. Bu üniteler, kalitesi ispatlanmış, güvenilir üniteler iseler kombine çevrim sisteminden mükemmel bir performans alınabilir. Bu ünitelerden gaz türbini-jeneratör, buhar türbini-jeneratör üniteleri öncelikli imal edilirler. Atık ısı kazanları ve kontrol üniteleri bu ikisine uyum gösterecek form ve ölçülerde dizayn edilirler.

2.1.5.1 Gaz Türbinleri

Gaz türbinleri son yıllarda ciddi bir gelişme göstermiş ve birleşik güç üretim sektöründe kullanımı yaygınlaşmıştır. Gaz türbini maksimum kapasitede uzun süre kullanılabilir. Gaz türbini güç endüstrisindeki değişikliklerle ve artan verimiyle, temel güç üretimi için kullanılmaya başlanmıştır. Gaz türbinleri düşük sermaye maliyetli ve yüksek ısı verimli kombine çevrimlerde kullanılmaktadırlar. Gaz türbinlerinin güçleri 1–250 MW arasında değişiklik göstermektedir (Sönmez, 1998).

Gaz türbininin karakteristiği, yapısı, performansı, kombine çevrimin verimine, performansına etki eder.

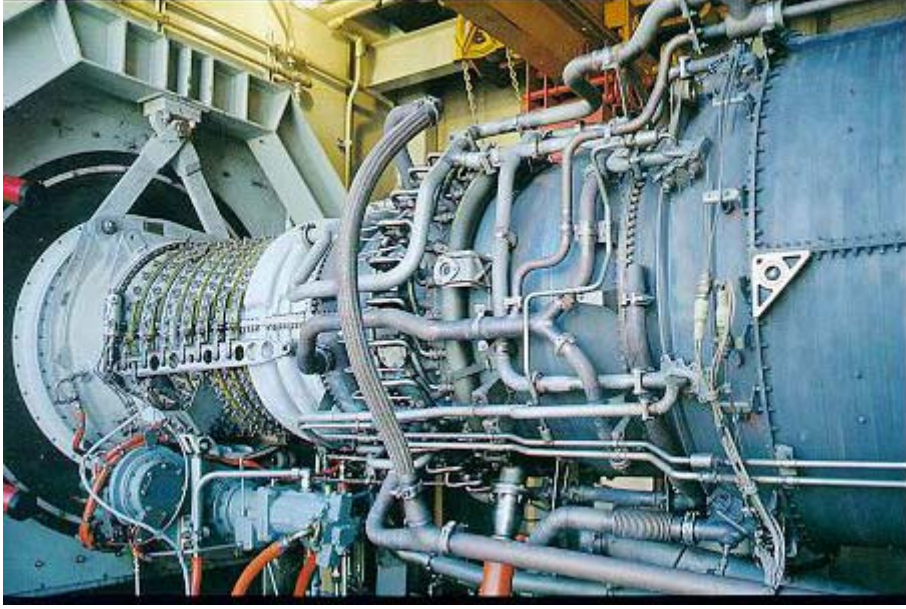
Kombine çevrim veriminin iyiye doğru artması bazı kısıtlara bağlıdır. Bunlar ateşleme sıcaklığının artması, basınca ve korozyona dayanıklı malzeme kullanılması ve soğutma teknolojisinin gelişmesidir. Kombine çevrim gelirin ticari olarak gelişmesi gaz türbin teknolojisinin gelişmesine bağlıdır.

Gaz türbinlerinin ömrü büyük ölçüde çalışma sıklığına, maksimum kapasitede çalışma süresine, yakıt kalitesine ve bölgedeki havanın temizliğine bağlıdır. Bir gaz türbinini ortalama ömrü 120000 çalışma saatidir. Yılda 6000–8000 saat arasında çalıştırılan gaz türbininin ömrü 15–20 yıl arasındadır (Orhan, 2003).

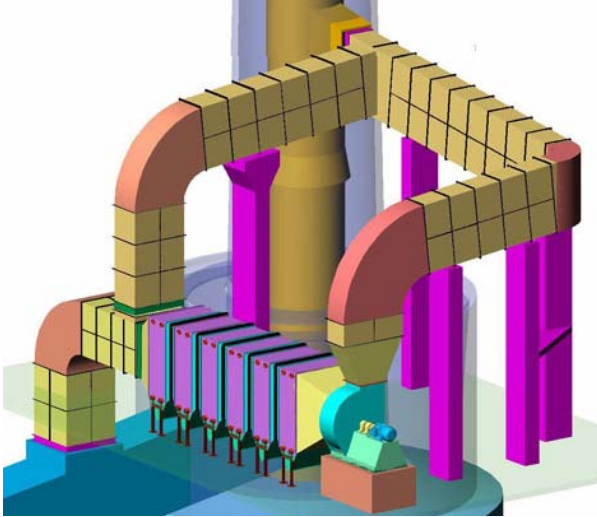
2.1.5.2 Atık Isı Kazanı

Atık ısı kazanı, gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinin en önemli parçalarından biridir. Atık ısı kazanları, yakmasız standart bir konstrüksiyonda olup, egzost gazlarının geçtiği boru yüzeylerinden suya ısı transferini sağlarlar ve tabii ya da pompalı sirkülasyonla kombine çevrime girerler. Gaz türbininden atmosfere atılan yüksek ısı enerjisine sahip egzost gazı, buhar veya sıcak su üretmek amacıyla atık ısı kazanlarına gönderilirler. 500–600 °C'deki egzost gazı atık ısı kazanında 150–170 °C de kullanılabilir sıcaklığa soğutulurak istenilen şartlarda buhar veya sıcak su elde

edilir. Bu sayede sisteme atık ısı kazanı ilave edilmesiyle sistemin toplam verimi arttırılmaktadır (Eriten,1998). Atık ısı kazanı şekilleri şekil 2.5 ve şekil 2.6 da gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Gaz türbini (Anonim,2008)



Şekil 2.5 Atık ısı kazanı tasarım resmi (Anonim 2008)



Şekil 2.6 Atık ısı kazanı (Anonim,2008)

2.1.5.3 Buhar türbini

Buhar türbini jeneratör ünitesi kombine çevrimin bir parçasıdır. Buhar türbini, genellikle endüstriyel veya bölgesel ısıtma amacıyla kurulan kojenerasyon tesislerinde kullanılmaktadır. Buhar türbin teknolojisi, şeker ve kağıt endüstrisi gibi elektrik ihtiyacı yüksek ve düşük basınçta büyük miktarda buhar ihtiyacı olan tesislerde kullanımı yaygındır.

Buhar türbini, istenilen sıcaklık ve basınçta bir buhar elde edebilecek şekilde dizayn edilmelidir. Isı enerjisi, uygun basınç ve sıcaklıkta, buhar aracılığıyla buhar çevriminden elde edilir.

Kojenerasyon tesislerinde kullanılan buhar türbinleri yoğuşmalı veya karşı basınçlı olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir. Bu ısı enerjisinin bir kısmı, proses buhar ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Bir kısmı da türbin boyunca elektrik üretimi için kullanılır.

Karşı basınçlı buhar türbini, proses ihtiyacı için gerekli buhar sıcaklığına ve basıncına bağlı olarak farklı yapılara sahiptir. En çok kullanılan karşı basınç türbinleri şekil 2.9'da gösterilmektedir. Karşı basınçlı buhar türbini, yüksek ısı güç oranına ve yüksek verime sahiptir. Buna ilave olarak karşı basınçlı buhar türbinli kojenerasyon sistemi, yoğuşmalı sistemden daha az yedek donanım gerektirir ve ilk

yatırım maliyeti düşüktür. Tek ve çift buhar almali karşı basınçlı türbinlerde, üretilen buharın bir kısmı istenilen basınç değerine genleştigi zaman türbin içerisinden alınarak proses ihtiyacı için kullanılabilir. Türbin çıkışından daha yüksek basınçta buhara ihtiyaç duyulduğu zaman, üretilen buharın bir miktarı türbinin ara kademelerinden alınır

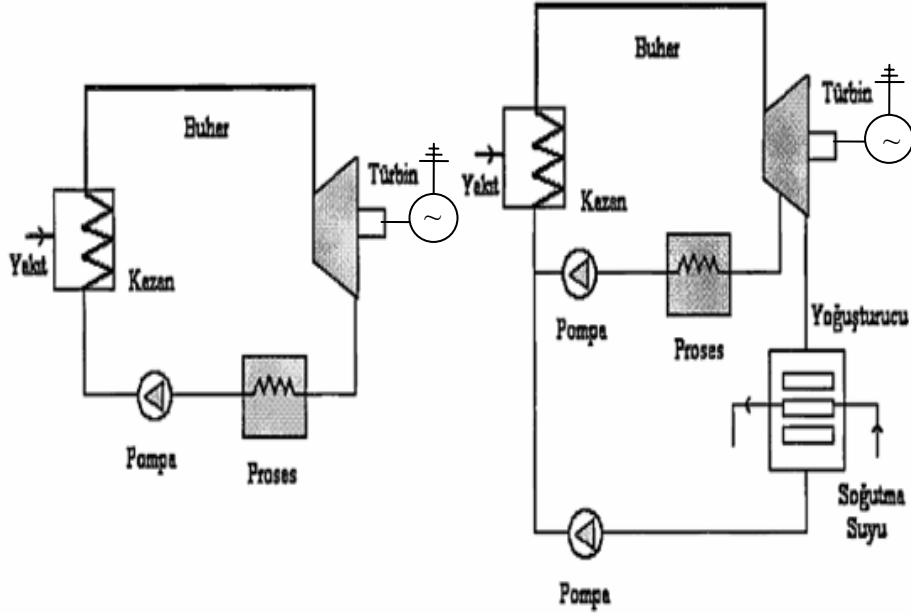


Şekil 2.7 Buhar türbini

2.1.5.4 Jeneratörler

Jeneratörler gaz türbinlerine ve buhar türbinlerine bağlı elektrik enerjisi üreten cihazlardır. Hava soğutmalı jeneratörler küçük kapasiteli gaz türbinlerinin bulunduğu kombine çevrim sistemlerinde kullanılırlar. Bunlar tamamen hava veya hava-su soğutmalı olabilirler. Eğer hava soğutmalı iseler bunlar havayı filtre ederler. Hidrojen soğutmalı jeneratörler tek şaftlı ve büyük çok şaftlı kombine sistemlerinde

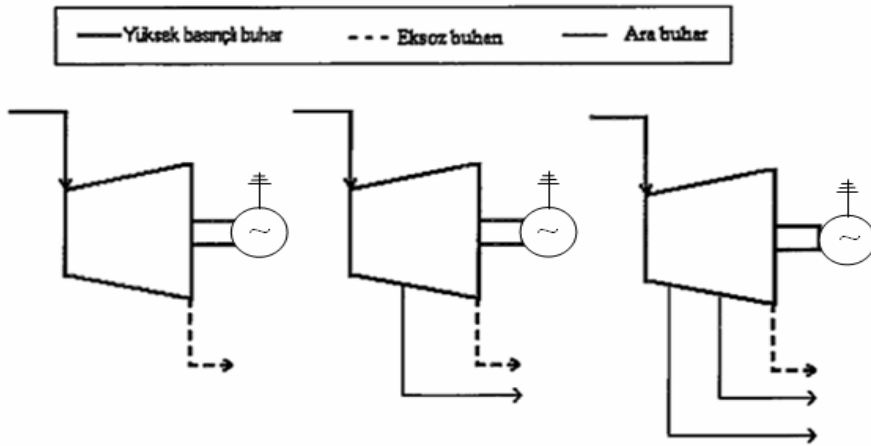
kullanılırlar. Hidrojen soğutmalı jeneratörler, tesis soğutma suyu veya onu çevreleyen hava/su ısı değiştiricileri ile kullanılabilirler.



a) Karşı Basınç Türbini

b) Ara Buhar Almalı Yoğuşmalı Türbin

Şekil 2.8 Buhar türbinli kojenerasyon sistemi a) Karşı Basınç Türbini, b) Ara buhar almalı yoğuşmalı türbin (Orhan, 2003)



a) Karşı basınç buhar türbini

b) Ara buhar almalı karşı basınç buhar türbini

c) Çift ara buhar almalı karşı basınç buhar türbini

Şekil 2.9 Farklı tip karşı basınç türbinleri a) Karşı basınç buhar türbini, b) Ara buhar almalı karşı basınç buhar türbini, c) Çift ara buhar almalı karşı basınç buhar türbini (Orhan, 2003)

2.1.5.5 Kontrol ünitesi

Kombine çevrim tesisleri, birimlerinden aldıkları verileri sunan kontrol ünitelerine sahiptirler. Operasyon ünitesinde, tüm tesisteki durum renkli grafik gibi yöntemlerle verilmekte ve santralin en uygun şekilde işletilmesi sağlanmaktadır.

Bir kontrol ünitesinin başlıca elemanları şunlardır: Buhar türbini-jeneratör kontrol birimi, gaz türbini-jeneratör kontrol birimi, tesis kontrol birimi, tesis kontrol birimi ve tüm işlemlerin yürütüldüğü kontrol ünitesidir.

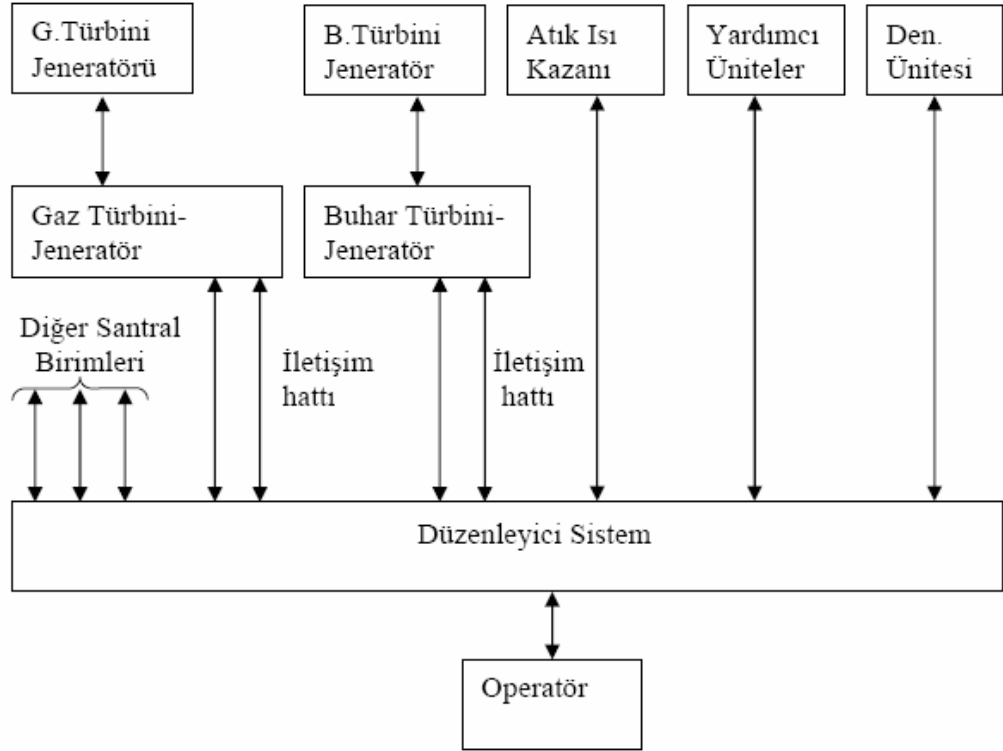
En iyi kombine çevrim tesisi kontrol ünitesi sadece bir kontrol odasına ve bir operatöre sahiptir. Kontrolör konsolu sayesinde tesisin tüm çalışan birimlerini görür ve işlemlerini kontrol eder. Diğer bir konsol tipi de renkli grafik olarak çalışır ve klavye ile komut girişi yapılabilir. Bu sayede istenilen değişiklikler sağlanabilir.

Bir multi-şaftlı kombine çevrim kontrol ünitesi otomatik çalıştırma ve işletme, sonra da tesis yardımcı ünitelerinin uzaktan mekanik olarak çalıştırılmasını sağlar. Gaz türbini-jeneratör grubu ise yerel kontrol ünitesi ile kontrol edilebilir. Mekanik kontrol için ek bir odaya gerek yoktur.

Tek şaftlı kombine çevrimde ise kontrol sistemi daha basittir. Kontrol yerel kontrol sistemleri ile yapılmakta ve bu da merkezi kontrol odasındaki operatöre bağlıdır. Tek kontrol odasından kontrolör bir veya daha fazla tek şaftlı kombine çevrim sistemini kontrol edebilir. Yerel kontrol sistemleri de buna yardımcı olarak çalışabilir.

2.1.5.6 Yardımcı üniteler

Bunların başlıcaları tek geçişli buhar türbini soğutma sistemi ve hava soğutmalı soğutma kuleleridir. Bunun seçiminde santralin kapasitesi göz önünde tutulmalıdır.



Şekil 2.10 Tipik çok şaftlı kombine çevrim santralına ait kontrol sistem şeması (Eriten, 1998)

2.1.6 Kombine Çevrim Tesisleri Uygulamaları

Kombine çevrim santrallerinin aşağıdaki üç ana grupta uygulanmaları mümkündür.

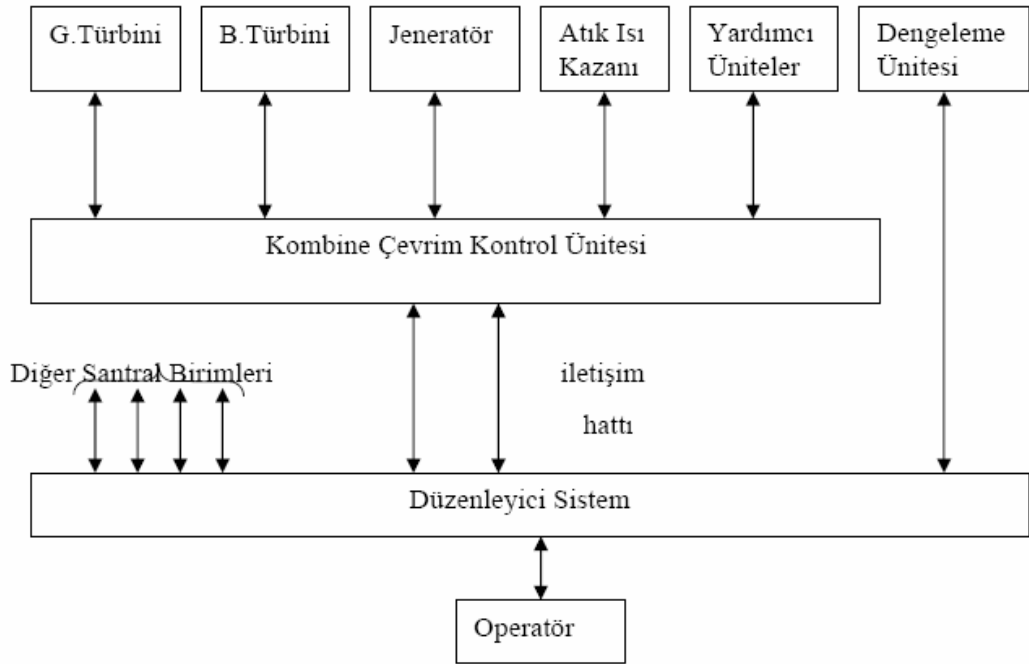
- 1- İlave yanmasız kombine çevrim
- 2- Tam yanmalı kombine çevrim
- 3- Paralel-güç üniteli kombine çevrim

Bu üç uygulama şekline birinin seçilmesi tamamen yakıtın mevcudiyeti ile mevcut bir santralin iyileştirilmesi veya yeni bir santralin kurulması durumları için yapılacak planlama çalışmalarına bağlı olmaktadır.

2.1.6.1 İlave Yanmasız Kombine Çevrim Santralleri

İlave yanmasız kombine çevrim santrallerinde, yanma tamamen gaz türbininde olur. Türbinin egzoz gazı bir atık ısı kazanına gönderilir. Basit konveksiyon tip ısı

eşanjörleri olan atık ısı kazanlarında ise, herhangi bir ilave yakıt yakılmadan sadece gaz türbini egzoz gazlarının yüksek ısısından yararlanmak sureti ile buhar elde edilir. Genel olarak gaz türbinleriyle aynı sayıdaki atık ısı kazanları, buhar kapasitesine bağlı olarak bir veya daha çok buhar türbinine bağlanır.



Şekil 2.11 Tek şaftlı kombine çevrim santraline ait kontrol sistemi şeması (Eriten, 1998)

Bu tip kombine çevrim santrallerinde buhar çevrimi, “iki basınç kademeli/ tekrar kızdırmaz” veya “üç basınç kademeli / tekrar kızdırmalı” şeklinde olmaktadır. İki basınç kademeli kombine çevrimler, basit tekrar kızdırmaz buhar çevrimleri olmasına karşın oldukça iyi bir termik performans göstermektedirler. Ülkemizde doğal gaz ile çalışan bu tipte iki kombine çevrim santrali bulunmaktadır. Bunlar Hamitabat (Lüleburgaz)’ta kurulmuş olan 1200 MW Trakya Doğal Gaz Kombine Çevrim Santrali ile İstanbul’un 40 km batısında kurulmuş olan 1350 MW Ambarlı Doğal Gaz Kombine Çevrim santralleridir.

Ayrıca, düz-buhar çevrimli ya da düz-gaz çevrimli termik santrallerde, mevcut buhar türbin ünitelerine gaz türbinleri veya mevcut gaz türbinlerine buhar türbinleri

eklenmesi yöntemleri ile ilave yanmasız kombine çevrim santrallerine dönüştürülüp, daha yüksek verim ve çıkış güçleri elde edilebilir.

Buhar türbinlerine gaz türbinleri ilavesi ile güç ve verim artırımında; mevcut santralin buhar türbininin orijinal veya bazı değişikliklerle revize edilmiş buhar parametrelerine cevap verebilecek yeni atık ısı kazanları, buhar kazanları ile değiştirilir ve ısı kazanları ile aynı sayıda gaz türbini sisteme ilave edilir. Bu dönüşüm özellikle buhar türbinlerinin hizmet ömrünün kömür yakıtlı kazanlardan daha uzun olması nedeniyle uygulanabilir olmaktadır.

Bu şekilde santral verimini % 37–38 seviyelerinden yaklaşık % 50 gibi oldukça yüksek bir seviyeye çıkarılmasının yanı sıra; kombine çevrim sistemlerinde takribi 60/40, 65/35 mertebelerinde olan gaz türbini/buhar türbini kapasite oranları dikkate alındığında santral toplam kapasitesi de iki hatta üç kat arttırılmış olmaktadır.

Gaz türbinlerine buhar türbinleri ilavesi ile güç ve verim artırımında; basit çevrimde çalışan mevcut gaz türbin üniteleri, atık ısı kazanı ve buhar türbini ilavesiyle kombine çevrim santraline dönüştürülebilir. Bu durumda gaz türbini egzozunun ısısı tamamıyla atık ısı kazanında kullanılacağından dolayı mümkün olan en yüksek verim elde edilmiş ve santral kapasitesi de yakıt tüketimi arttırılmaksızın en az % 50 oranında yükseltilmiş olacaktır.

2.1.6.2 Tam Yanmalı Kombine Çevrim Santralleri

Bu tip santraller 1960'lı yılların ortasından 1970' li yılların sonuna kadar Orta Avrupa'daki elektrik üretim tesislerinde bugünün şartlarına göre daha düşük giriş ve egzoz sıcaklıklarına sahip gaz türbinlerinden oluşan ünitelerin verimlerini yükseltmek amacıyla yaygın olarak uygulanmıştır.

Tam yanmalı kombine çevrimlerinde gaz türbini egzostu, cebri çekiş fanları tarafından atmosferden alınan hava ile karışarak, buhar kazanlarında ana yakıtın (genellikle kömür) yakılmasında gereken yanma havasının ön ısıtmasını sağlar. Bu işlem ile tam bir yanma sağlanmış olmaktadır. Zira gerek atmosferden alınan

havadaki gerekse gaz türbin egzozundaki hemen hemen tüm oksijen ana yakıtın yakılmasında kullanılmakta, yalnızca % 3–5 mertebesinde bir oksijen miktarı baca gazı ile atılmaktadır. Böylece NO_x konsantrasyonu da daha düşük bir seviyeye çekilmektedir.

Ayrıca herhangi bir konvansiyonel buhar kazan/ türbin ünitesinin, gaz türbini ilavesi ile tam yanmalı kombine çevrim santraline dönüştürülmesi mümkündür. Bu durumda gaz türbin egzozu ve ilave fanlarla alınan hava kazanlarda kullanılacağından mevcut ünitenin ön ısıtıcılarının ve cebri çıkış fanlarının kaldırılması gerekmektedir.

2.1.6.3 Paralel Güç Üniteli Kombine Çevrim Tesisleri

Paralel güç üniteli kombine çevrim santrallerinde buhar türbinleri iki ayrı bağımsız güç kaynağından beslenmektedir.

Genellikle ana kaynak konvansiyonel bir buhar kazanı, ikinci kaynak ise gaz türbinine bağlı bir atık ısı kazanı olmaktadır. Bu manada paralel güç üniteli kombine çevrim, tam yanmalı çevrim ile ilave yanmasız çevrimin birleşimi olarak ta düşünülebilir.

Bu sistemde gaz türbini egzost gazı, üniteye bağlı atık ısı kazanlarına verilir, diğer buhar kazanında yakıtın yanmasında destek amaçlı olarak kullanılmaz. Sistemin en büyük avantajı; tasarım, yakıt ve işletme yönünden sağladığı esnekliktir. Gaz türbini ve buhar türbini kapasiteleri buna bağlı olarak gaz veya likit yakıtların katı yakıtlara oranı serbestçe tayin edilebilmektedir. Bununla birlikte, kömür yakıtlı kazanın baca gazı emisyonlarının kabul edilebilir limitlerin altına çekilebilmesi için arıtma tesislerine de ihtiyaç duyulabilir.

Mevcut türbin üniteleri de iki ayrı yöntemle paralel güç üniteli kombine çevrim santrallerine dönüştürülebilir. Birinci yöntemle, üniteye gaz türbini ve atık ısı kazanı ilave edilerek buradan elde edilen buhar ile mevcut kazandan elde edilen buharın

takviye edilmesi neticesinde buhar türbininin tam kapasitede kullanılması sağlanabilir.

Genelde buhar kazanlarının hizmet ömrünün buhar türbinlerinden daha kısa olması nedeniyle zamanla kazanların daha düşük yükte çalışmalarının zorunlu hale gelmesi durumunda bu sistem uygulanabilir olmaktadır.

İkinci yöntemde ise, üniteye eklenen gaz türbini ve atık ısı kazanı yalnızca mevcut sistemin kondensat ve / veya besleme suyu ısıtılmasında kullanılır. Böylece hem santral verimi hem de çıkış gücü yükseltilmiş olur (Özgürel ve Egeli'den 1996).

2.1.7 Kojenerasyon Tesislerinin Kullanım Alanları

Kojenerasyon sistemleri, tesislerin çalışma şartlarındaki durumlarına göre üç farklı alanda kullanılabilirler.

Bölgesel ısıtmayı içeren merkezi kojenerasyon: Merkezi bir santralde hem elektrik hem de ısı üretilir. Isı, sıcak su veya buhar aracı akışkan olarak kullanılarak boru şebekesiyle bölgeye dağıtılır. Bu uygulama, Kuzey ve Doğu Avrupa ülkelerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Endüstriyel kojenerasyon: Yüksek miktarda elektrik ve buhar (ısı) gereksinimi olan endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yüksek sıcaklıklarda ısı gerektiren tesislerde (rafineri, gübre tesisleri, demir, çimento, seramik, şeker ve cam) kullanıldığı gibi düşük sıcaklıkta ısı gerektiren tesislerde de (kâğıt, tekstil, yemek ve meşrubat) kullanılır. Bu tür sistemlerde, ısı gereksiniminin temel parametre olarak alınıp sistemin buna göre tasarlanması daha ekonomiktir. Fazla elektrik şebekeye satılabilir veya gerekirse şebekeden elektrik alınabilir.

Küçük ölçekli kojenerasyon: Çalışma saatleri belli olan yerlerde kurulan tesisler olup, gaz türbin ve pistonlu motorun gelişimi ile son 10 yılda yaygınlık kazanan bir

uygulamadır. Küçük ölçekli kojenerasyon tesislerinde, genellikle 5 MW gücünde küçük pistonlu motorun kullanımı söz konusudur (Orhan, 2003).

2.1.8 Kojenerasyon Tesislerinin Karşılaştırılması

Kojenerasyon tesisleri seçiminde sistemin ekonomikliği, teknik açıdan toplam sistemin etkinliği ve kullanıcının gereksinimleri dikkate alınarak, uygun bir şekilde seçilmelidir. Bu seçimlerde rol oynayan faktörlerin başlıcaları şunlardır: (Akdeniz, 2007)

1. Yakıt
2. Elektrik/ ısı oranı
3. Yük eğrisi
4. Start sayısı
5. Ortam sıcaklığı
6. Toplam sistemin kapasitesi
7. Elektriğin kapasitesi
8. Elektriğin fiyatı

2.1.8.1 Yakıt

Kombine çevrimli kojenerasyon tesislerinde; doğalgaz, propan, dizel, no4 ve no6 fuel-oil, çöplük gazı gibi yakıtlar kullanılmaktadır.

Dizel motorlarda dizel doğrudan kullanılırken, no 4 ve no 6 yakıt ön hazırlama ünitelerinde temizlendirildikten, basınçlandırıldıktan ve viskozitesi ayarlandıktan (ısıtıldıktan) sonra yakılabilmektedir.

Gaz türbinlerinde ise doğalgaz, LPG, dizel gibi yakıtlar yakılabilmektedir. Türbin LPG ile çalıştırılacak ise dizel ile çalıştırılmaya başlayıp bir süre sonra LPG'ye dönmelidir.

Çizelgeden de görüldüğü üzere sürekli elektrik ve ısı üretiminde doğalgaz ya da ağır yakıt kullanılması ekonomik çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

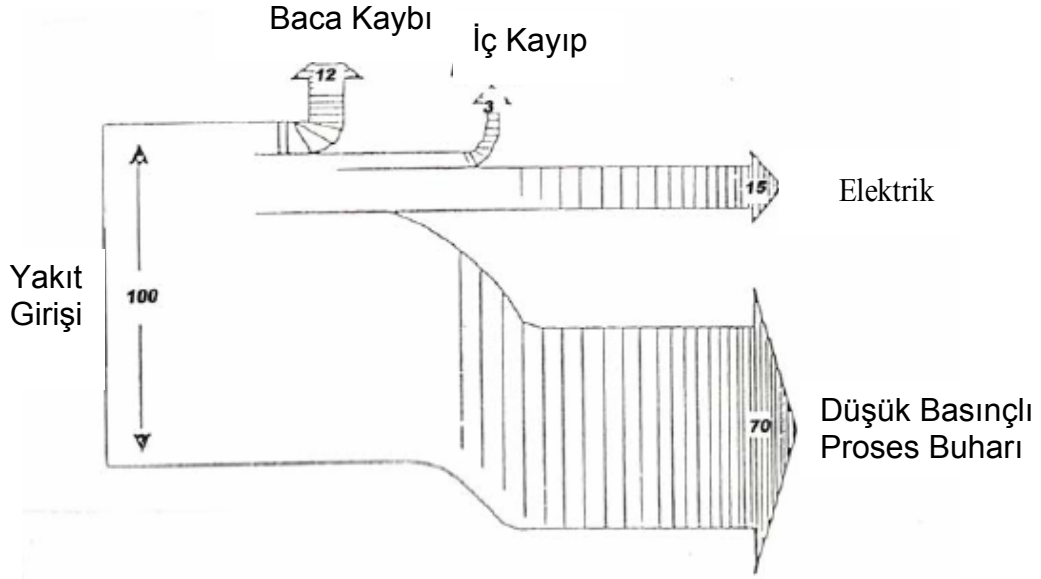
Çizelge 2.1 Yakıtların fiyat ve verim olarak karşılaştırılması (Akdeniz, 2007).

Yakıt	Isıl değeri	Birim fiyat	Ortalama yanma verimi (%)	Birim Maliyet (Cent/kWh)
Doğalgaz	34485 kJ/m ³	18 cent/m ³	92	2.04
Fuel-oil (No:6)	38456 kJ/kg	18 cent/kg	82	2.05
LPG	45980 kJ/kg	32 cent/kg	90	2.78
Propan	46398 kJ/kg	61 cent/kg	90	5.25
Diesel	42636 kJ/kg	60 cent/kg	84	6.02
Elektrik	3595 kJ/kWh	7.3 cent/kWh	99	7.03

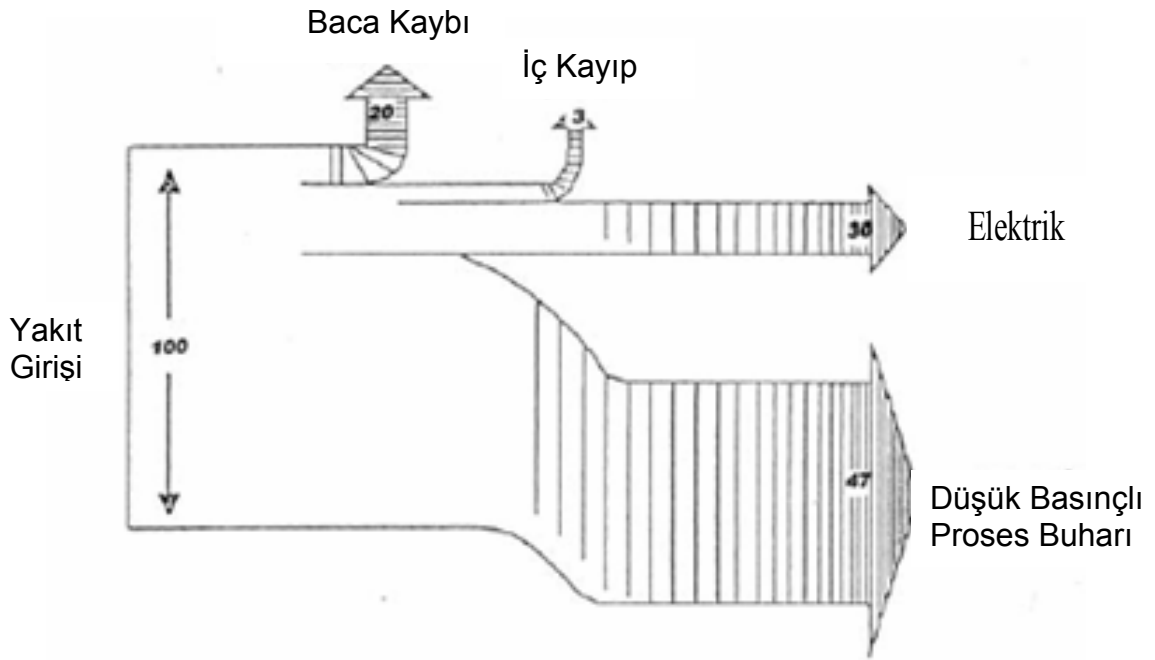
2.1.8.2 Elektrik/ısı oranı

Uygulanacak kojenerasyon sisteminin ısı ve mekanik güç ihtiyaçları, önemli tasarım parametrelerini oluşturmaktadır. Kurulacak tesisin seçiminde önemli olan tesis ısı ve mekanik ihtiyaçlarının ölçülmesidir. Tesis kurulurken, düşünülmesi gereken ilk durum tesisin elektrik ihtiyacının mı yoksa proses ısı ihtiyacının mı fazla olması gerektiğidir. Buhar türbinli sistemler, proses ısı ihtiyacının fazla olduğu zaman tercih edilir. Türbinden atılan buhar, yüksek basınçlı olduğundan elektrik güç çıkışı oransal olarak azalır.

Farklı kojenerasyon tesisleri için, elektrik/ ısı oranları çeşitlendirilebilir. Yüksek elektrik/ ısı oranı için tesis tasarımında, birim elektrik başına yakıt tüketimi artar. Bu yüzden kojenerasyonlu üretim tesisinde tüm yakıt kullanım verimliliği artar. İşletmenin elektrik, yüksek ya da düşük basınçta buhar ihtiyacına göre kullanılan tesis sisteminin tipine bağlıdır.



Şekil 2.12 Buhar türbinli kojenerasyon üretim tesisinin enerji akışı (Tekeli, 2003)



Şekil 2.13 Kombine çevrimli kojenerasyon tesisinin enerji akışı (Tekeli, 2003)

2.1.8.3 Yük Eğrisi

Günün, haftanın, yılın çeşitli zamanlarına göre tesisin yük eğrisi çıkarılabilir. Örneğin ısıtma yükü kışın artar, elektrik ihtiyacı geceleri daha fazladır. Isı ve elektrik

talepleri aynı anda birbirleriyle karşılanamayabilir. Bu gibi durumlarda yük eğrisi birden fazla aralığa bölünerek, tüketim birden fazla ünite ile karşılanabilir,

2.1.8.4 Start Sayısı

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

2.1.8.5 Ortam Sıcaklığı

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

2.1.8.6 Toplam Sistem Kapasitesi

Bileşik ısı-güç üretim sisteminde ihtiyaç duyulan güçler büyüdükçe, seçilen sistem, gaz türbinine doğru yönelmektedir.

2.1.8.7 Elektriğin Kalitesi

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

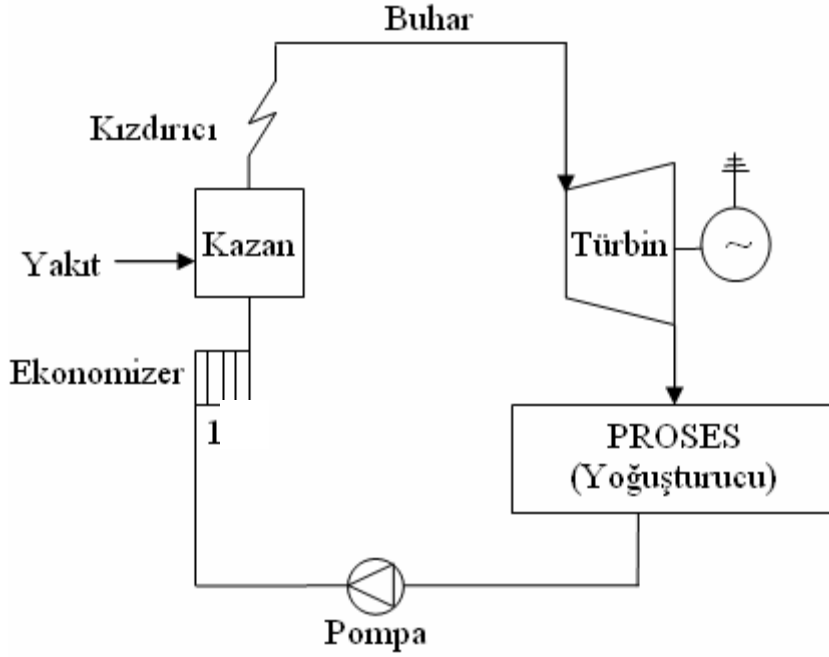
2.1.9 Kojenerasyonun Faydaları

Kojenerasyon tesislerinin en önemli üstünlüğü, gereksinimi duyulan enerji türlerini istenildiği zaman ve miktarda üretebilmeleridir. Bu tesisler kendi enerjilerini kendileri ürettikleri için dışa bağlı değildirler.

- Kojenerasyon, birincil enerji kaynağı kullanımında yüksek verimlilik sağlayarak yerel veya ithal enerji kaynaklarında tasarruf sağlar.
- Enerji üretiminin, tüketim yerinde gerçekleştirilmesi sonucunda elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının önüne geçilir.
- Kojenerasyon tesisinde, üretilen yararlı ısı enerjisi ve elektrik enerjisi için çevreye atılan katı, sıvı ve gaz madde miktarı, yalnız elektrik üreten merkezi enerji santrali veya yalnız buhar üreten bir endüstri kazanına göre, daha azdır.
- İşletmenin azalan toplam enerji giderleri, nihai ürün kalitesini düşürmeden maliyeti azaltarak, şirketin rekabet gücünü artırır.
- İşletmenin enerji ihtiyacı güvence altına alınarak, üretimin durması önlenir.
- Kojenerasyon, tesisleri, küçük yerleşim alanı ihtiyacı nedeniyle istenirse şehir merkezlerinin çok yakınında kurulabilme olanağı vardır.
- Konvansiyonel termik santrallere göre tesisin inşaat süresi daha azdır.
- Gaz türbinli kojenerasyon santrali, 15–20 dakikada tam yüke ulaşarak termik santrale göre daha çabuk devreye girer.
- Birleşik ısı güç sistemi, % 80 ve üzerinde bir verime sahiptir. Gaz türbin esaslı birleşik ısı güç santrallerini, fosil yakıtlı veya buhar kazanlı sıradan sistemlerle karşılaştırdığımızda, gaz türbinli sistemlerin yaklaşık % 30 daha az ana enerji kaynağına ihtiyacı olduğu gözlemlenmiştir.
- Kombine çevrim santralinde, konvansiyonel bir termik santrale göre yaklaşık % 60 daha az soğutma suyuna ihtiyaç vardır.
- Doğal gaz kullanılan kombine çevrimli kojenerasyon tesislerinde çevreye çok az miktarda zararlı emisyon salınımı gerçekleştirilir.
- Doğalgaz kullanılan kojenerasyon tesislerinde, yakıt stoklamaya ve bununla ilgili yatırıma ihtiyaç yoktur (Orhan,2003, Sönmez, 1998, Tekeli,2003).

2.1.10 Şeker Fabrikalarında Kojenerasyon Tesisi

Kojenerasyon veya diğer adıyla birleşik ısı güç üretimi, ısıl enerji ve elektrik gereksinimlerini aynı enerji kaynağından karşılanması olayıdır. Şekil 2.14'te şeker fabrikalarında kullanılan kojenerasyon yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.

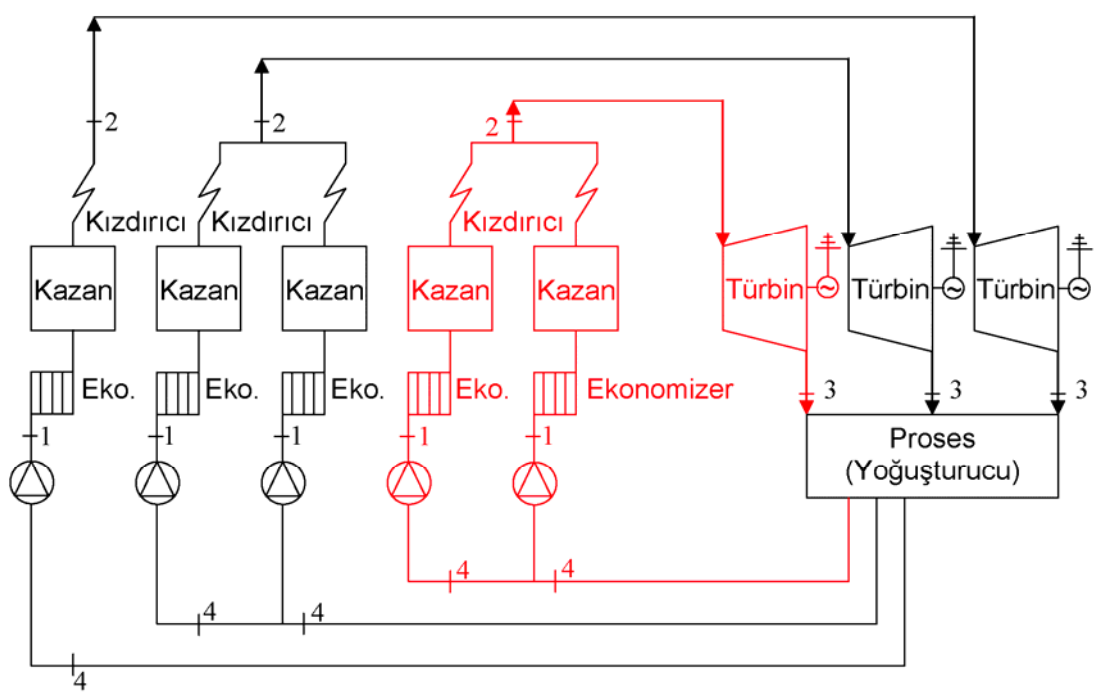


Şekil 2.14 Karşı basınç buhar türbinli kojenerasyon sistemi

Pancar kesim dönemlerinde şeker fabrikaları büyük miktarlarda enerji tüketirler. Şeker fabrikalarının elektrik ve ısı enerjilerini karşılamak için kojenerasyon tekniği yani birleşik ısı-güç üretiminden yararlanılmaktadır. Kazanlarda türbinlerde elektrik üretimi için hazırlanan sağlam buhar üretilerek türbine gönderilir. Sağlam buhar türbin dairesinde fabrika için elektrik sağlayan karşı basınç türbinlerinde iş gördükten sonra retür (çürük) buhar olarak türbinlerden çıkar. Çıkan buhar istenilen termodinamik özelliğe getirilerek (basınç düşürme istasyonu) şerbet koyulaştırma istasyonundaki buharlaştırıcılardan birincisinin buhar kamarasına sevk edilmektedir. Buharlaştırma istasyonundaki buharlaştırıcılarda kademeli olarak şerbetin koyulaştırılması esnasında üretilen ısıtıcı buhar, şeker fabrikasında şerbet üretiminde, şerbet arıtımında, şerbetin pişirilmesi ve şekerin kurutulması süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu suretle üretilen buharın mekanik enerjisinden yararlanılarak

elektrik üretilmekte, ısı enerjisinden de yararlanılarak fabrikada proses üretimi gerçekleştirilmektedir.

Alpullu Şeker Fabrikasında kojenerasyon diğer adıyla birleşik ısı güç üretimi tekniği 1926 yılından beri uygulanmaktadır. Bu sayede ekonomik açıdan oldukça fazla bir kazanç sağlanmaktadır. Bu yolla kazandan suya verilen ısı enerjisinin daha büyük bir bölümü amaca uygun olarak kullanılır ve fabrikanın verimi artmaktadır.



Şekil 2.15 Şeker fabrikası enerji akışının şematik olarak gösterilmesi

2.1.11 Sürekli Akışlı Açık Sistemler

Mühendislikte kullanılan türbin, kazan, ısı değiştiricisi, yoğuşturucu ve benzeri birçok makinenin çalıştıkları sürelerde giriş, çıkış ve diğer çalışma koşulları değişmez. Bu nedenle sürekli akış makineleri diye adlandırılırlar. Sürekli akış makineleri ile ilgili termodinamik çözümlere sürekli akışlı açık sistem adı verilen gerçeğe yakın bir modelle yapılır.

Sürekli akışlı açık sistemde akışkanın kontrol hacminden sürekli bir akışı vardır. Akışkanın özellikleri kontrol hacmi içerisinde bir noktadan diğerine farklılık

gösterebilir fakat verilen bir noktada zamanla değişmez. Sürekli sözcüğü ile zamanla değişmeyen yani zamandan bağımsız anlamı çıkarılmalıdır. Sürekli akışlı açık sistemle ilgili olarak aşağıdaki gözlemler yapılabilir.

1- Kontrol hacmi içinde, yaygın hiçbir özellik zamanla değişmez. Böylece kontrol hacminin kütlesi (m), hacmi (V) ve toplam enerjisi (E), sürekli akışlı açık sistemde sabittir. Kontrol hacmine giren toplam kütle ve enerji, kontrol hacminden çıkan toplam kütle ve enerjiye eşit olmak zorundadır.

2- Sürekli akışlı açık sistemin çevresiyle ısı ve iş etkileşimleri zamanla değişmez. Bu nedenle sistemin çevresiyle birim zamanda yaptığı ısı alışverişi veya birim zamanda yaptığı iş sabittir.

3-Kontrol hacminin sınırlarındaki hiçbir özellik zamanla değişmez. Bu nedenle giren ve çıkan akışkanların özellikleri zamana göre sabittir. Sürekli akışlı açık bir sistemin herhangi bir giriş ve çıkış kesitindeki kütle debisi sabittir. Yapılan başka bir kabul de, bir giriş veya çıkış kesiti boyunca özelliklerin değişmemesidir. Böylece giriş veya çıkış kesitlerindeki akışkan özellikleri, kesit boyunca sabit ortalama değerlerle belirtilebilir. Bu kabul çözülmeyi büyük ölçüde kolaylaştırır.

Bu gözlemlerin matematiksel formülasyonu sırayla aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir.

\dot{m}_g ve $\dot{m}_ç$ sırayla sisteme birim zamanda giren ve çıkan kütle miktarları, \dot{Q} sisteme birim zamanda verilen ısı miktarı, \dot{W} sistem tarafından birim zamanda yapılan iş, $\dot{\theta}$ ise sistemin toplam enerjisi veya diğer bir ifade ile sistemin metalpisi olmak üzere sürekli akışlı açık sistemler için kütle ve enerjinin korunumu denklemleri;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1.1)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_ç \dot{\theta}_ç - \sum \dot{m}_g \dot{\theta}_g \quad (1.2)$$

yazılabilir. (Çengel ve Boles, 1996)

2.2 PANCARDAN ŞEKER ÜRETİMİ

Pancardan Şeker üretimi yapan işletmelerde hammadde olan Şeker pancarı, çeşitli işlemlere tabi tutularak elde edilecek ana ürün Şeker üretilmektedir. Pancardan Şeker üretiminde Alpullu Şeker Fabrikası için ürün akış Şeması aşağıdaki Őekillerde gösterilmektedir.

Şekilleri çizilen proses akım Őemalarına göre pancardan Şeker üreten işletmelerde Şeker üretimi ana süreçleri Şu Őekildedir.

1. Şerbet üretimi
2. Şerbetin arıtılması
3. Şerbetin koyulaştırılması
4. Kristalleştirme ve Şekerin elde edilmesi (rafineri)

Şeker üretimindeki yardımcı süreçler ise,

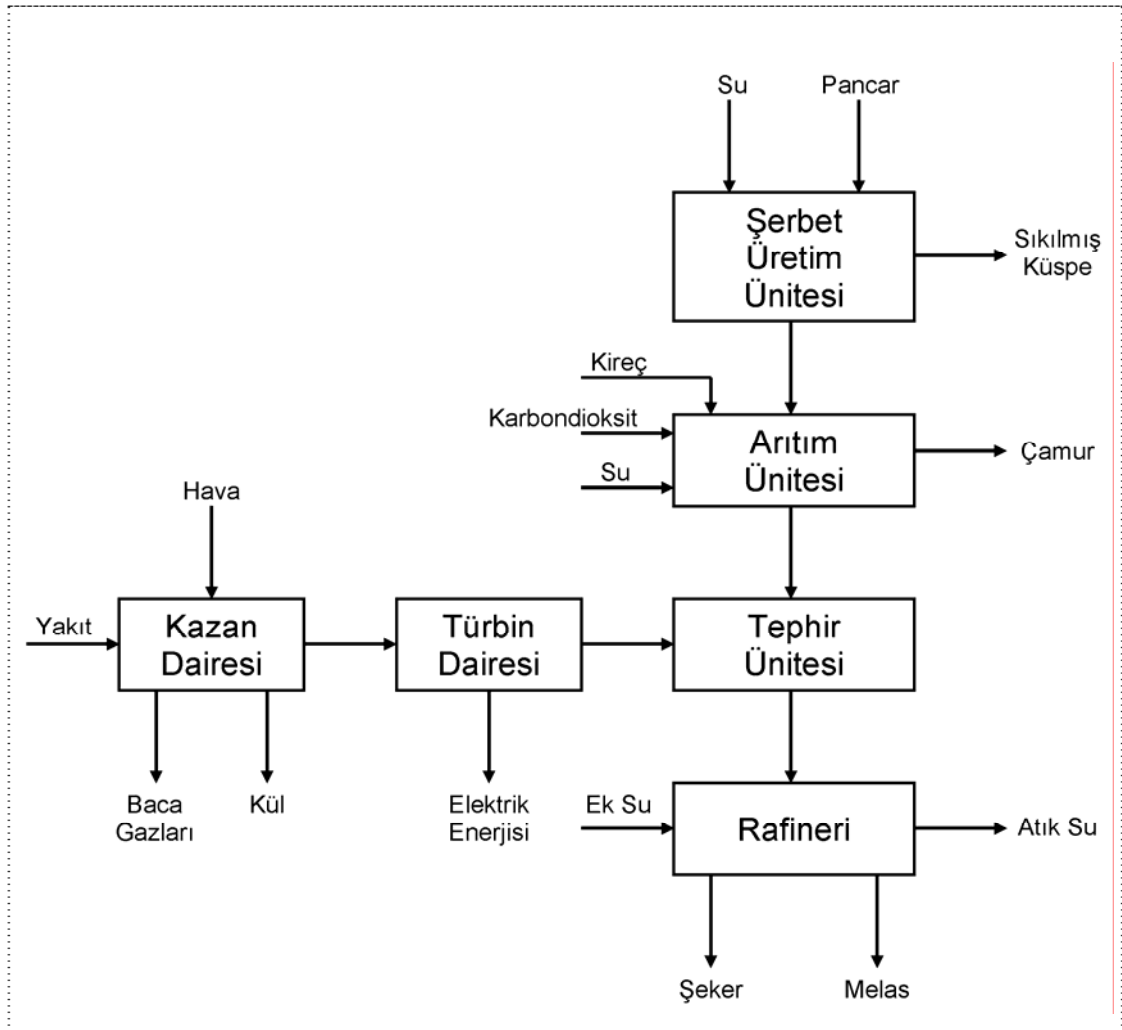
1. Buhar ve elektrik üretimi
2. Kireç sütü ve karbondioksitin hazırlanması

AŐağıda süreçler için açıklayıcı bilgiler verilmiştir.

2.2.1 Şerbet Üretimi

Alpullu Şeker Fabrikası Şerbet üretim sisteminin basit Şeması Şekil 2.16'da gösterilir. Şerbet üretiminin amacı pancar kıyımlarından Őekeri mümkün olduğu kadar eksiksiz olarak çekmektir. Şerbet üretimi süresince Şeker, mekanik ve ısıl işlemlerle suya difüze olur. Kıyım makinesinde mekanik etki ile oluşan basıncın etkisiyle pancar hücrelerinin % 5-10'u açılır. Eğimli difüzyon makinesinde ise Şeker ısının etkisiyle suya geçer. Eğimli difüzyonda sıcaklık 75 °C'yi geçmeyecek Şekilde işlem yapılmaktadır (Şeker Teknisyenleri el kitabı,1970).

PROSES (YOĞUŞTURUCU)



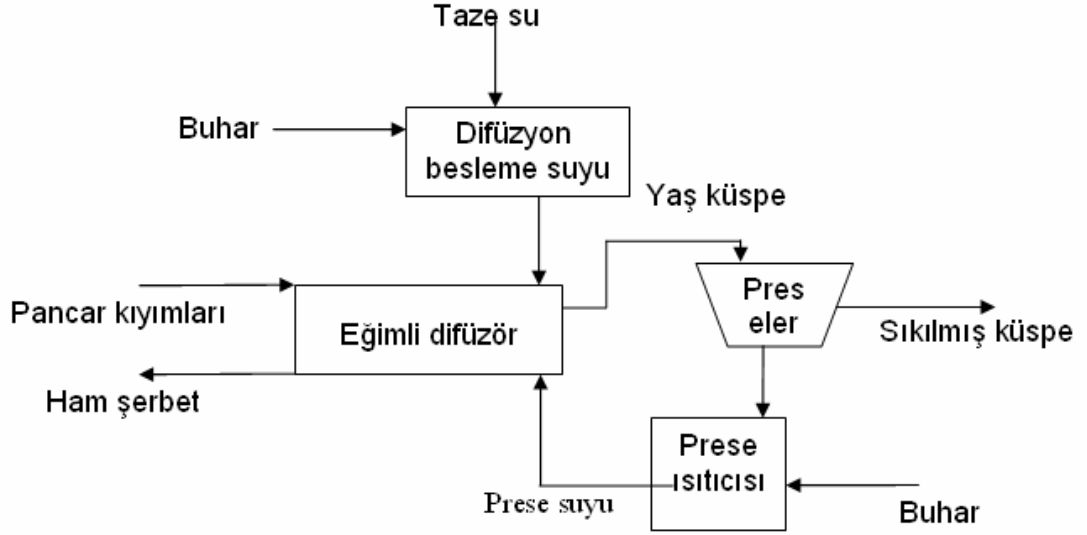
Şekil 2.16 Şeker fabrikası ürün akış şeması

Kıyım makinesinde kıyılan pancar kıyımları eğimli difüzyona iletilir. Bu kıyımlar eğimli difüzyon içerisinde difüzyon kanununa göre ekstraksiyon işlemine tabi tutulurlar. Moleküler yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye doğru giderler. Bu partiküllerin difüzyon hızı, kütlelerine ve çözeltinin sıcaklık ve viskozitesine bağlıdır.

Difüzyonda çekilen ham şerbet ağırlığının difüzyona verilen kıyım ağırlığına oranına çekiş adı verilmektedir.

$$\% \text{ Çekiş} = (\text{ham şerbetin kütlesi} / \text{kıyımın kütlesi}) \cdot 100$$

Difüzyon işleminde difüze olmayan pancar kıyımlarına küspe adı verilmektedir. Bu küspeler küspe preslerinde sıkılırlar. Bu aşamada ortaya çıkan prese suyu ısıtıcıdan geçirilerek yeniden eğimli difüzyona verilirler. Preselerde geriye kalan sıkılmış küspe pancar üreticisine belirli bir bedel karşılığında satılır.



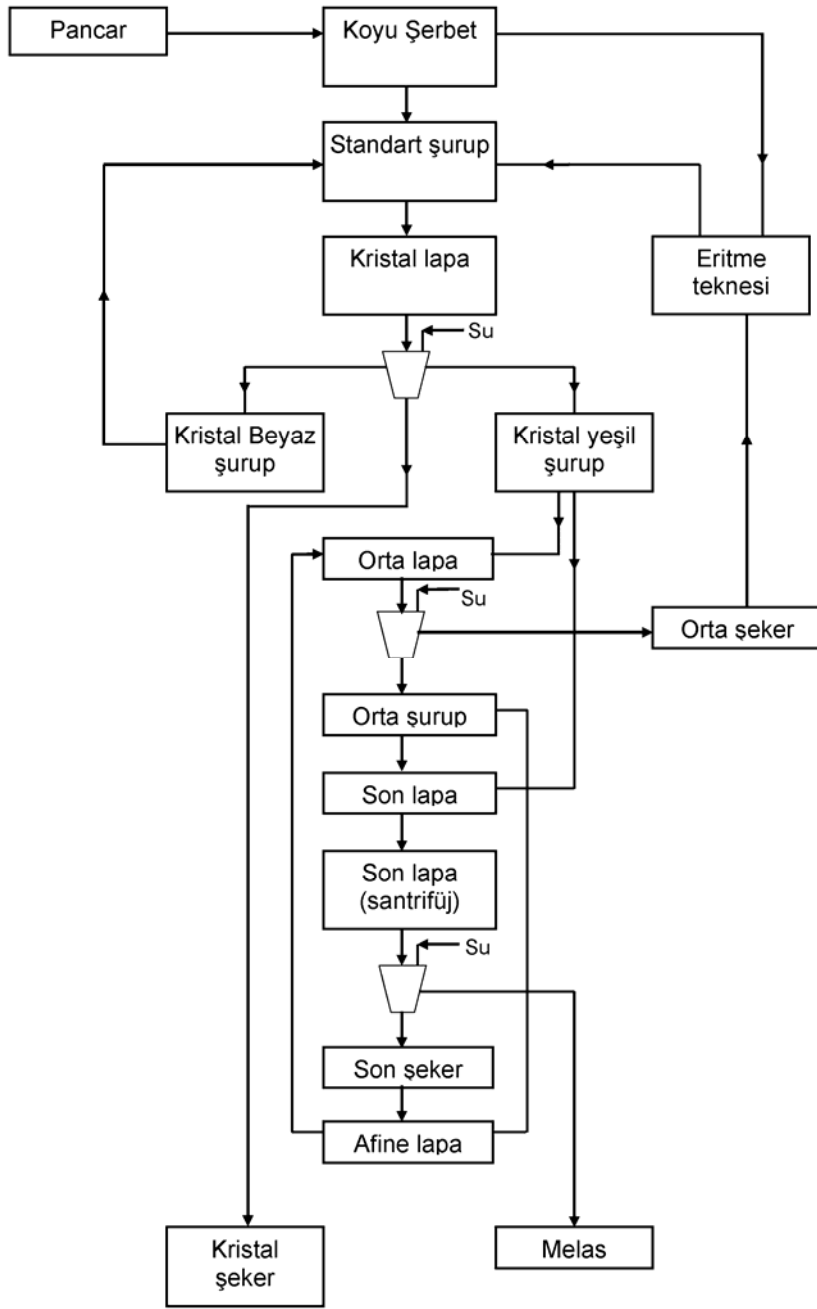
Şekil 2.17 Şerbet üretimi ünitesi tesis şeması

2.2.2 Şerbet Arıtımı

Şekil 2.19'da Alpullu şeker fabrikası şerbet arıtım sistemi şematik olarak gösterilmektedir.

Pancarın içerisinde bulunan şekerin alındığı ham şerbetin içerisindeki şeker dışı maddelerin uzaklaştırılması için yapılan kireçleme, karbonatlama ve filtreleme işlemlerinin yapıldığı bölümdür.

Şerbet arıtım tesisinde kireçleme ve karbonatlama işlemleri iki aşamada gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.18 Şeker fabrikası rafineri ürün şerbet akış şeması

Birinci kireçlemede ham şerbete içerisindeki şeker dışı maddelerin arıtılması amacıyla optimal bir pıhtılaşma ortamı elde edilinceye kadar kireç sütü verilmektedir. Bu ortam genellikle pH değerinin 10.8–11 ve alkalitesinin 0.15–0.20 [gCaO/100ml] olduğu bir aralıkta gerçekleşmektedir. Bu aşamada ham şerbetin içerisinde bulunan asitler nötrleştirilir, çözülmeyen kalsiyum tuzları ve kompleksleri çökelirler.

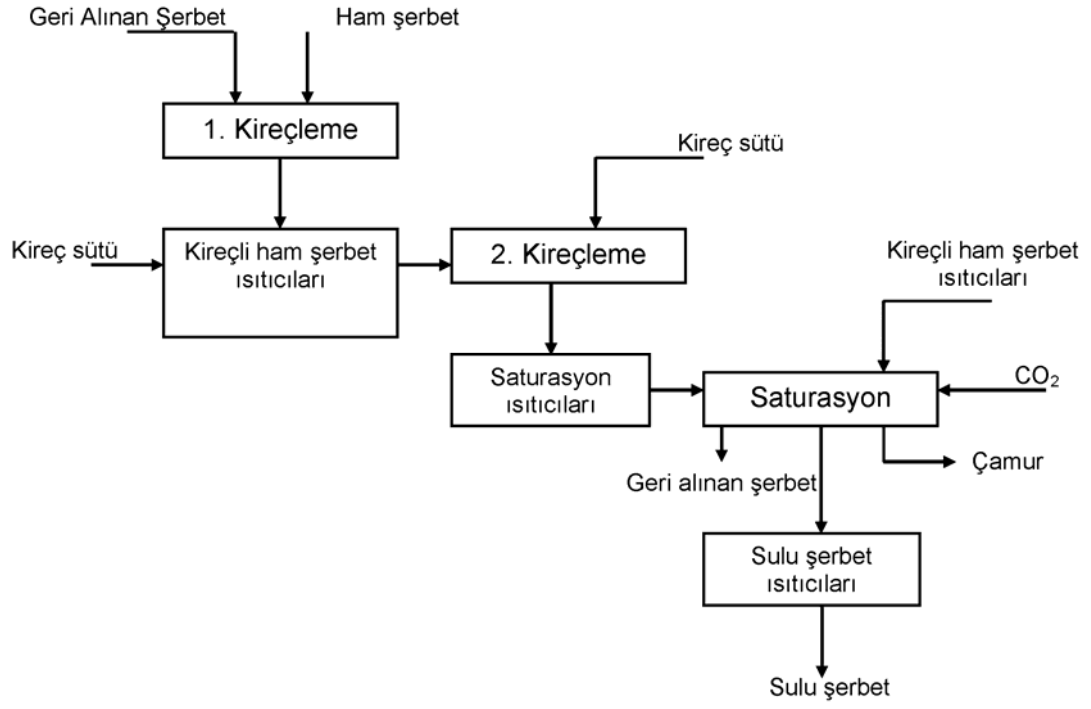
İkinci kireçlemede şerbete % 1.5–2.0 oranında kireç verilerek şerbetin pH değerinin 12'nin üzerine çıkarılması sağlanır ve şerbet içerisindeki iyonların etkisi ile şeker dışı maddelerin parçalanması sağlanır. Bu maddeler özellikle invert şeker ve amitlerdir. İkinci kireçleme optimal alkalitesi pancardaki her bir birim şeker dışı madde için 0.8 birim CaO kullanılması gerektiği düşüncesi ile bulunmaktadır. 2. kireçlemede yüksek alkalitenin sağladığı kimyasal reaksiyonların amacı 1. karbonatlamada süzme için yardımcı madde olacak olan kalsiyum karbonatı oluşturmak ve bu suretle 1. kireçlemede oluşan çökeleği sarıp süzülebilir hale getirmektir. 2. kireçleme bunlara ek olarak daha sonraki aşama olan birinci karbonatlama işleminde şerbet içinde çözülmüş durumda bulunan şeker dışı maddelerin önemli bir kısmının yüzeye toplanmasını sağlar.

Karbonatlamada, kireçlemede verilen fazla miktarda kireç, CO₂ (karbondioksit) verilerek CaCO₃ (kalsiyum karbonat) halinde çöktürülür ve uzaklaştırılır. Uzaklaştırılan şeker dışı bu maddeler özellikle organik ve inorganik asitlerin kireç tuzları ve renkli maddelerdir. Karbonatlamada kireçten meydana gelen kalsiyum karbonatın şerbet arıtma sürecinde iki görevi vardır. İlk olarak çökelen çamurun süzülmesi sağlanır. İkinci olarak da geniş dış yüzü ile bir kısım şeker dışı maddeyi yüzeye toplayarak şerbetten uzaklaştırmaktadır. Karbonatlama prosesinde işlem sıcaklığı 85–90 °C arasında olur.

Birinci karbonatlamada mekanik ve fiziksel olaylar ön sırada yer alırken ikinci karbonatlamada daha çok kimyasal olaylar söz konusudur.

Şerbet arıtımında ortaya çıkan çamur türünden katı maddeler döner filtrelerden geçirilerek sistemden uzaklaştırılırlar.

Şerbet arıtım ünitelerinden geçirilen şerbete sulu şerbet ismi verilmektedir.



Şekil 2.19 Şerbet arıtımı tesisi şeması

2.2.3 Şerbetin Koyulaştırılması

Şerbet arıtım ünitelerinden geçirilerek elde edilen sulu şerbetin tephir istasyonu ismi verilen buharlaştırıcılardan (evaporatör) geçirilmesi işlemi sonucunda şerbetin koyulaştırıldığı kısımdır.

Tephir istasyonundaki buharlaştırıcılarda 12–15 briks (şerbet içerisindeki katı madde oranı) ile giren şerbetin suyunun uçurularak 60–65 brikse kadar koyulaştırılmaktadır.

Şeker fabrikasındaki tephir istasyonlarının işletmede iki görevi vardır:

- 1- Sulu şerbeti 60-65 [Bx] derecesine kadar koyulaştırılması.
- 2- Şeker fabrikalarındaki şerbet üretimi, arıtımı, pişirimi, koyulaştırma işlemi gibi bölümleri gerekli ısıtıcı buhar (Brüde) ile beslenmesi.

Tephir istasyonlarındaki bu iki görevin sağlanması şeker fabrikalarında daha az enerji tüketilmesini sağlamaktadır.

Tephir istasyonuna alınan retür buharı çeşitli kademelerde birbirinde farklı basınç ve sıcaklıklarda ısıtıcı buharlara çevirmekte ve bunlarda ısı tüketicilerde kullanılmaktadırlar. Bu suretle tephir istasyonu şeker fabrikalarında buhar üretici görevini üstlenmiştir.

Şerbetin tephir istasyonunda koyulaştırılması işlemi için çok fazla retür buhar kullanılmamaktadır. Bu ısıtıcı buhar tephir istasyonunun kademelerinde daha düşük sıcaklık ve basınçtaki ısıtıcı buharla çevrilmekte ve çevrilen bu brüdelere kullanan ısı tüketicilerde bu brüdelere buhar kamalarında kondense etmektedirler.

Tephir istasyonundaki buharlaştırıcıların sayılarına göre başka bir deyişle kademe sayılarına göre koyulaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu kademe sayısı üç, dört veya beş olabilmektedir. Buna göre tephir istasyonu üç, dört, beş kademeli olmak üzere isimlendirilmektedir. Alpullu Şeker Fabrikasında tephir istasyonu beş kademelidir.

Ülkemizdeki şeker fabrikalarında dik borulu buharlaştırıcılar kullanılmaktadırlar. Buharlaştırıcılardaki boruların içerisinden şerbet dışından da ısıtıcı buhar geçmektedir. Bu borular alt ve üst uçlarından birer aynaya sıkı sıkıya geçirilerek bağlanmışlardır ve bu iki ayna ile cihazın silindir şeklindeki cidarı ısıtıcı kamerayı oluşturmaktadır. Isıtıcı kamerasının altında bir şerbet odası bulunur ve ısıtıcı kameranın üstünde bulunan silindir şeklindeki kısım ise brüde odası bulunmaktadır. Burada borularda teşekkül etmiş olan brüde şerbetten ayrılır. Brüde odasına yerleştirilmiş olan şerbet ayırıcı, şerbetten kopan şerbet damlalarını brüdeden ayırır. Şekil 2.20'de düşey borulu bir tephir cihazının şekli görülmektedir.

Buharlaştırıcının alt kısımlarında birer kapalı kaptan ibaret olan genişleme kapları bulunmaktadır. Buraya gelen yoğunlaşmış buhar belirli bir sıcaklık ve basınca sahiptir. Daha düşük sıcaklık ve basınçtaki ortamla temas eden yoğunlaşmış buhar aynı zamanda daha geniş hacimli bir ortama girmesi sonucunda sıcaklık farkı nedeni ile

genleşerek buharlaşma gizli ısısını kendi bünyesinden verir ve bir miktar daha brüde kazanılır. Bu brüdeye genleşme brüdesi adı verilmektedir. Bu brüdelere bir sonraki buharlaştırıcıda yeniden kullanılır. Böylece birinci kademeye verilmesi gereken retür buharından tasarruf edilmiş olur.

Alpullu Şeker Fabrikasında şerbetin koyulaştırılması işlemleri için birbirinden farklı sıcaklık ve basınçlarda çalışan beş kademeli bir tephir istasyonu bulunmaktadır. Sulu şerbet, üç adet sulu şerbet ısıtıcısından geçirilmek suretiyle birinci kademeye uygun giriş sıcaklığına getirilerek, buharlaştırıcının birinci kademesine koyulaştırılma işleminin başlaması için gönderilmektedir. Tephir istasyonunun birinci kademesinde türbinden gelen retür (çürük) buhar ile buharlaştırma işlemi yapılır. Koyulaşan sulu şerbet vana üzerinden daha düşük basınç ve sıcaklık altında buharlaşma yapan 2A ve 2B kademelerine girer. Bu kademede buharlaştırma için birinci kademede sulu şerbetten uçurulan ısıtıcı buhar kullanılır. İkinci kademeler birbirine paralel bağlıdır. İkinci kademedan çıkan ve koyuluk derecesi biraz daha artmış olan şerbet yine birbirileri ile paralel olarak çalışan 3A ve 3B kademelerine girer. Bu kademelerde ise ikinci kademelerden üretilmiş olan ısıtıcı buharlar şerbetin koyulaştırılması işleminde kullanılırlar. Buradan şerbet dördüncü kademeye iletilir. Dördüncü kademenin ısıtıcı buharı 3A ve 3B buharlaştırıcılarında üretilmiş olan 3. brüdelerdir. En son olarak ta dördüncü kademede koyulaştırılmış olan şerbet vakum altında 4. brüde ile çalışan besinci kademeye gönderilir. Bu son kademedan sonra şerbet arzu edilen koyuluk derecesine sahip olarak koyu şerbet ismiyle kristalleşmenin oluşacağı rafineri kısmında işlenmek üzere koyu şerbet depolarına gönderilir.

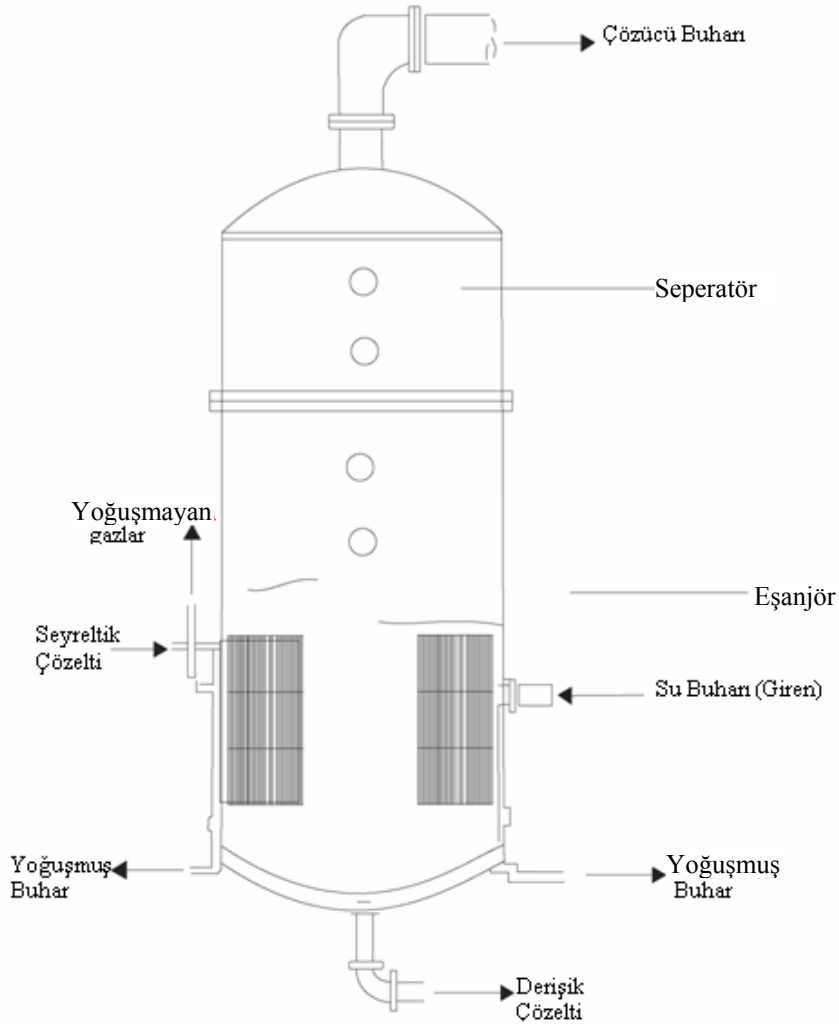
2.2.4 Şerbetin Kristallendirilmesi ve Şekerin Elde Edilmesi

Tephir istasyonunda koyulaştırılan şerbet koyu şerbet adıyla fabrikanın rafineri olarak isimlendirilen ünitesinde kristallendirilir. Rafineri ünitesinde koyu şerbet, su, buhar, elektrik gücü ve kondensatlar sisteme girmektedir. Rafineriden şeker, melas, vakum buharı çıkmaktadır.

Rafineri bölümünde kuru madde dengesinden yola çıkılarak, aşamalardan geçen ürünlerin kuru madde miktarları hesaplanılır. Rafineri ürünlerindeki kuru madde

miktarları, maddelerin şeker oranı, kuru madde oranı ve aralık değerlerinden çıkarılabilir. Bu veriler sonucunda tesislerdeki birimlerde ne kadar buhar gereksinimi olduğu belirlenebilmektedir. Rafinerideki buhar(ısı) ihtiyacı; şerbetle, lapa miktarına ve eritme suyu olarak rafineriye verilen kondens miktarı ile doğru orantılıdır.

Şuruplar vakum kazanlarına gönderilmeden önce depolarda 70–80 °C sıcaklıklarına kadar ısıtılırlar. Vakum kazanlarına giren renksizlendirilmiş, süzölmüş olan standart şurup kazanlarda pişirilerek lapa adı verilen bir ürün olarak meydana gelir. Lapa refrijerant adı verilen karıştırıcı depolarda soğutulduktan sonra santrifüjlere gönderilir. Santrifüjlerde lapadan kristal şeker ve şurupları elde edilir.



Şekil 2.20 Düşey borulu bir buharlaştırıcı cihazının şematik gösterimi (Nurveren, 2001)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

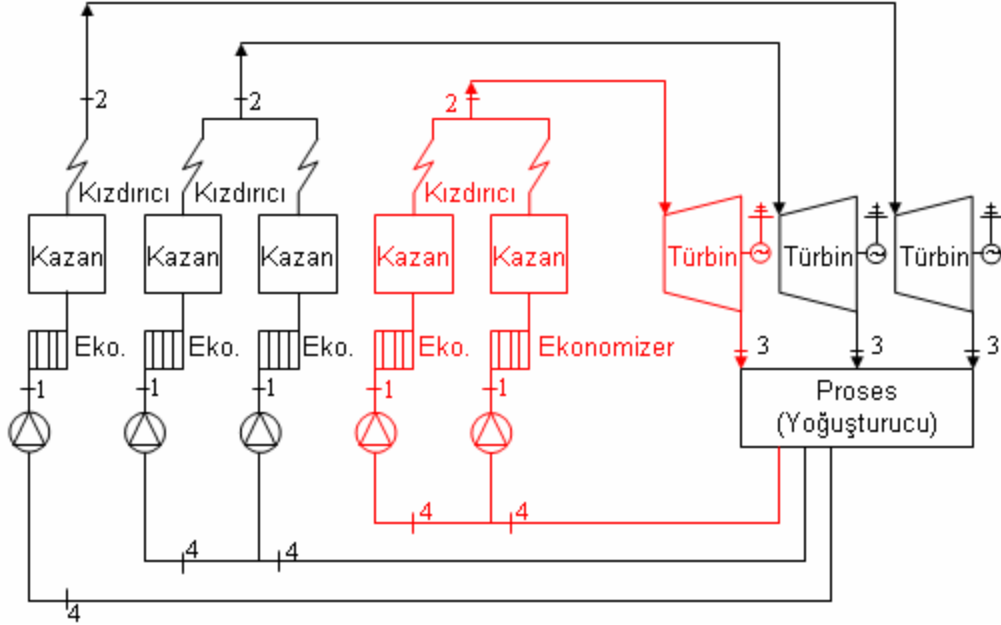
Tez çalışmasında çalışmakta bulunduğum Alpullu Şeker Fabrikasında, kazan dairesindeki mevcut katı yakıtlı 16 t/h buhar kapasiteli iki adet buhar kazanının yerine gaz türbini ve buradan çıkan atık gazlara yakıt ilavesiyle çalıştırılması düşünülen gaz yakıtlı 241 bar basınçlı bir buhar kazanının tasarımı düşünülmüştür. Buhar kazanından üretilen yüksek basınçlı buhardan enerji elde edebilmek ve sistemde kullanabilmek amacıyla tesisin önüne bir öncü türbin ilave edilmektedir. Öncü türbin yüksek basınçta gelen buharın (241 bar 600 °C) tesiste kullanılan diğer buhar türbinleri basıncına (18 bar 400 °C) kadar genişlemesini sağlamaktadır. Buradan tekrar buhar türbinlerine girecek olan 18 bar ve 400 °C deki buhar, türbinlerde 2 bar ve 160 °C ye kadar genişlemektedir. 2 bar ve 160 °C de türbinden çıkan retür buharı basınç düşürme istasyonundan geçirildikten sonra şeker fabrikasında buharlaştırıcı istasyonunda ham şerbetin kaynatılmasında kullanılmak üzere tesise verilmektedir. Buharlaştırma istasyonundan elde edilen ısıtıcı buharlar ise tesiste şerbet üretimi, şerbet arıtımı, şerbet pişirimi ve şeker kurutulmasında kullanılmaktadır. Kondenser ünitesinde yoğuşturulan buhar, kazan besleme suyu olarak türbo pompalar aracılığıyla kazana gönderilmektedir. Böylece sistem basit olarak kapalı çevrim yapmaktadır.

Gaz çevrimi bölümünde ise atmosferden alınan 15 °C ve 1 atmosfer basınçtaki hava 20 kademeli kompresörde sıkıştırılarak yanma odasına verilmektedir. Yanma odasından çıkan gaz, gaz türbinine gönderilmektedir. Gaz türbininden elde edilen mekanik enerji jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Gaz türbininden çıkan sıcak hava buhar kazanına gönderilerek yakıt ilavesiyle buhar kazanındaki suyun buhar haline geçmesine yardımcı olmaktadır.

3.1 Tesisin Tanıtılması

Alpullu şeker fabrikasında pancar kesme dönemlerinde fabrikanın ısı ve elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla beş adet katı yakıtlı buhar kazanı kullanılmaktadır. Fabrikanın kazan dairesinde bulunan buhar kazanlarında üretilen yüksek basınçlı buhar türbin dairesine gönderilerek, fabrikanın elektrik ihtiyacını

karşlamak amacıyla burada bulunan karşı basınçlı buhar türbinlerinden geçirilirler. Buhar türbinlerinden çıkan retür (çürük) buharı fabrikanın ısı ihtiyacını karşılaması için proses üretimine gönderilir. Buhar kazanlarından elde edilen saatlik buhar üretimi 90–100 ton kadardır.



Şekil 3.1 Şeker fabrikası enerji akım şeması

Şeker fabrikasında bulunan buhar kazanlarının tamamı alman Buchau-Wolf firması imalatı olup, buhar kazanlarından dört tanesi saatlik 18 bar basınç ve 400 °C sıcaklığında 16 ton buhar üretim kapasitesine sahiptirler. Diğer buhar kazanı ise saatlik 18 bar basınç ve 400 °C sıcaklığında 40 ton buhar üretim kapasitesine sahiptir. Buhar kazanlarının tamamı mekanik ızgaralıdır.

Alpullu şeker fabrikası türbin dairesinde 3 adet karşı basınçla çalışan buhar türbini bulunmaktadır. Buhar türbinlerinden 2 tanesi 16 t/h buhar üretim kapasitesine sahip 4 adet buhar kazanından gelen sağlam buhardan elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılırken bir tanesi de 40 t/h buhar üretim kapasiteli buhar kazanından gelen buhardan elektrik üretmektedir. Buhar türbinlerinden iki âdeti alman Bosch-Siemens firmasının üretimi olup 4000 kW elektrik üretim kapasitesine sahiptir. Diğer buhar türbini ise Oerlikon firması imalatı olup 5000 kW elektrik üretim kapasitesine sahiptir.



Şekil 3.2 Alpullu şeker fabrikası kazan dairesi

Buhar türbinlerinden çıkan retür (çürük) buhar, şerbet koyulaştırma istasyonundaki buharlaştırıcılardan birincisinin buhar kamarasına sevk edilmektedir. Buharlaştırma istasyonundaki buharlaştırıcılarda kademeli olarak şerbetin koyulaştırılması esnasında üretilen ısıtıcı buhar, şeker fabrikasında şerbet üretiminde, şerbet arıtımında, şerbetin pişirilmesi ve şekerin kurutulması süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu suretle üretilen buharın mekanik enerjisinden yararlanılarak elektrik üretilmekte, ısı enerjisinden de yararlanılarak fabrikada proses üretimi gerçekleştirilmektedir.

3.2 Fabrikadaki Tesis Hesaplamaları

Fabrikada katı yakıtla çalışan 2 adet 16 t/h kapasiteli buhar kazanı bulunmaktadır. Buhar kazanlarından elde edilen 18 bar ve 400 °C'deki kızgın buhar karşı basınç türbinine gönderilir. Buhar türbininde jeneratör yardımıyla kızgın buharın mekanik enerjisi elektrik enerjisine çevrilerek, tesisin elektriği üretilmektedir. Karşı basınçlı buhar türbininden çıkan 2 bar ve 160 °C'deki çürük buhar ısı enerjisinden

yararlanılmak amacıyla fabrikaya proses üretimi için gönderilmektedir. Proses üretimi sırasında yoğunlaşan retür buharı 110 °C sıcaklığında kazanlara tekrar geri gönderilmektedir.

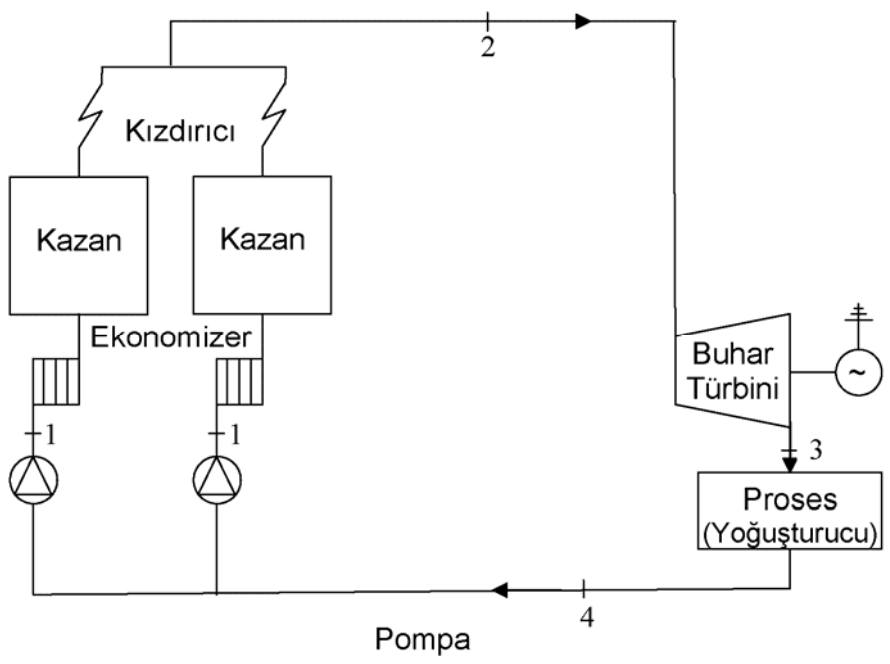


Şekil 3.3 Alpullu şeker fabrikası türbin dairesi



Şekil 3.4 Buhar türbininin açık halı

Şeker fabrikasında buhar kazanlarında yakılacak olan yakıt linyit kömürüdür. Buhar kazanlarında alt ısıl değeri 20064 kJ/kg olan linyit kömürü kullanılmaktadır. Satın alınan linyit kömürünün tonunun maliyeti fabrikamıza 290 TL olarak ihale edilmektedir. Tesiste buhar kazanlarında kullanılan besleme suyu sıcaklığı 110 °C 'dir. Buhar kazanlarının verimi % 65 olarak alınmıştır (Şeker teknisyenleri el kitabı, 1970).



Şekil 3.5 Mevcut tesisin genel şematik gösterimi

Çizelge 3.1 Şeker fabrikası enerji tesisi hesaplamalarında kullanılan parametreler

Üretilen buhar miktarı	32000 kg/h
Yakıtın alt ısıl değeri	20064 kJ/kg
Kazan verimi	0.65
Yakıt fiyatı	290 TL/ton
Kazan besleme suyu sıcaklığı	110 °C

Tesisteki buhar kazanlarının ısı ihtiyaçları:

Kazan dairesinde bulunan 2 adet buhar kazanının saatlik ısı ihtiyacı

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_b \cdot (h_2 - h_1) \quad (3.1)$$

denkleminde hesap edilir. Burada;

\dot{Q}_k : Buhar kazanı ısı ihtiyacı (kW)

\dot{m}_b :Kazanlarda üretilen buhar miktarı (kg/h)

h_2 : Kazanlarda üretilen kızgın buhar entalpisi (kJ/kg)

h_1 : Kazan besleme suyu sıcaklığı entalpisi (kJ/kg)

Kazanların ısı ihtiyacı

$$\dot{Q}_k = 24420 \text{ kW}$$

olarak elde edilir.

Tesisteki buhar türbininden elde edilen güç:

$$\dot{W}_{el} = \dot{m}_b (h_2 - h_3) \cdot \eta_j \quad (3.2)$$

formülünden ifade edildi. Burada; .

\dot{W}_{el} : Türbinde üretilen güç (kW)

\dot{m}_{bes} : Üretilen buhar miktarı (kg/h)

h_2 : Kızgın buhar entalpisi (kJ/kg)

h_3 : Buhar türbininden çıkan buhar entalpisi (kJ/kg)

η_j : Jeneratör verimi

yapılan hesaplamalar sonucu türbinden üretilen güç;

$$\dot{W}_{el} = 3680 \text{ kW}$$

olarak elde edilir.

Tesisteki kazan besleme suyu pompalarının gücü:

$$\dot{W}_p = \dot{m}_{bes} \cdot (h_1 - h_4) \quad (3.3)$$

$$h_1 = h_4 + v (P_1 - P_4) \quad (3.4)$$

denklemleri kullanılarak hesaplama işlemleri yapılır. Burada;

- \dot{W}_p : Pompa gücü (kWh)
 \dot{m}_{bes} : Besleme suyu miktarı (kg/h)
 h_1 : Pompa çıkış entalpisi (kJ/kg)
 h_4 : Besleme suyu entalpisi (kJ/kg)
 v : Özgül Hacim (m³/kg)

$$\dot{W}_p = 16 \text{ kW}$$

bulunur.

Tesisten alınan ısı enerjisi miktarı:

Tesiste kullanılan ısı enerjisi miktarı (3.2) nolu formüldeki gibi hesap edilir.

$$\dot{W}_{isi} = \dot{m}_b (h_3 - h_1) \cdot \eta_m$$

Burada;

- \dot{W}_{isi} : Tesiste üretilen ısı enerjisi miktarı (kWh)
 \dot{m}_b : Tesiste kullanılan buhar miktarı (kg/h)
 η_m : Mekanik Verim

$$\dot{W}_{isi} = 20500 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Tesisteki buhar kazanlarındaki tüketilen yakıt miktarı:

Tesisteki buhar kazanlarındaki tüketilen yakıt miktarı 3.5 nolu formülden hesaplanır.

$$\dot{m}_y = \frac{\dot{Q}_k}{H_u \eta_k} \quad (3.5)$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada;

\dot{m}_y	: Tesisin yakıt sarfıyatı	(kg/h)
\dot{Q}_k	: Kazanların ısı ihtiyacı	(kWh)
H_u	: Yakıtın alt ısı değeri	(kJ/kg)
η_k	: Kazan verimi	

$$\dot{m}_y = 6741 \text{ kg/h}$$

olarak bulunur.

Tesisten elde edilen elektrik gücünün birim fiyatı:

Tesise buhar kazanlarında yakılan kömür linyit kömürüdür. Tesiste yakılacak olan kömürün tonu 290 TL olarak ihale edilmiştir.

$$\text{Maliyet} = \frac{\text{Harcanan yakıt fiyatı}}{\text{Üretilen elektrik gücü miktarı}} \quad (3.6)$$

$$C_{EM} = 0.531 \text{ TL/kW}$$

olarak elde edilir.

Tesisten üretilen ısı gücünün birim fiyatı:

$$\text{Maliyet} = \frac{\text{Harcanan yakıt fiyatı}}{\text{Üretilen ısı gücü miktarı}}$$

$$C_{IM} = 0.095 \text{ TL/kW}$$

olarak elde edilir.

Tesisten üretilen toplam gücün maliyeti:

Tesisten üretilen toplam gücün maliyeti; tesiste harcanan yakıt miktarının tesiste üretilen toplam güce oranı olarak bilinmektedir.

$$C_M = 0.081 \text{ TL/kW}$$

olarak bulunmaktadır.

Tesisin enerjiden yararlanma oranı:

$$\varepsilon_t = \frac{\dot{W}_{el} + \dot{W}_{ısı} - 2\dot{W}_p}{\dot{m}_y H_u} \quad (3.7)$$

$$\eta_T = \% 64.28$$

olarak bulunmaktadır.

Çizelge 3.2 Mevcut tesisin referans değerlerindeki değerleri

Referans nokta	alınan	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	Basınç (MPa)	Entalpi (kJ/kg)
1		110	18	1.8	461.58
2		400	18	1.8	3207
3		160	2	0.2	2789
4		110	1	0.1	459.8

3.3 Yapılması Planlanan Enerji Üretim Tesisi

Fabrikada tasarlanması düşünülen enerji üretim tesisi, ısı ve elektriğin bir arada üretildiği gaz türbinli kombine çevrimli kojenerasyon tesisidir. Bu tesiste gaz türbininden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları bir buhar kazanında yakıt ilavesi ile buhar üretmek için kullanılmaktadırlar. Buhar kazanından çıkan kızgın buhar, buhar türbinlerinden geçerek elektrik üretimine devam edecek ve buhar türbininden çıkan düşük basınçlı buhardan tesisin ısı ihtiyacı karşılanacaktır.

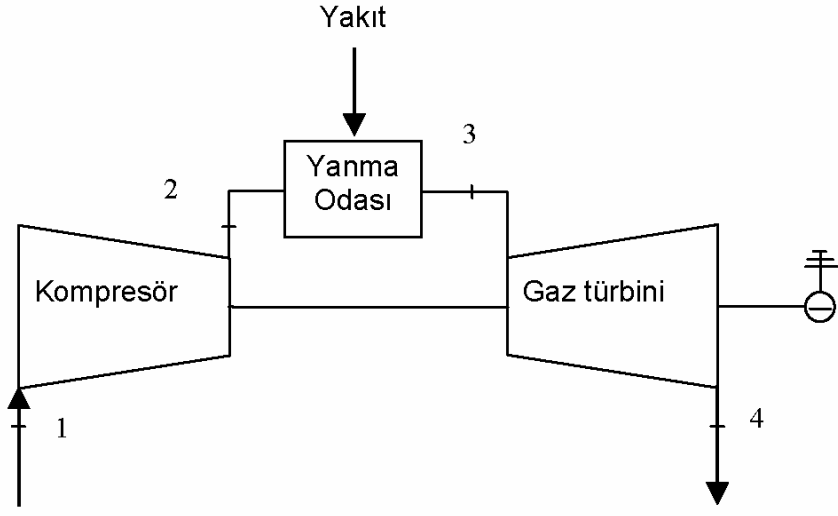
Çizelge 3.3 Mevcut tesis için elde edilen sonuçlar

Buhar kazanlarının ısı ihtiyacı	24420	kW
Buhar türbininden elde edilen güç	3680	kW
Tesisteki besleme suyu pompa gücü	16	kW
Tesiste üretilen ısı güç	20500	kW
Kazanların yakıt sarfıyatı	6741	kg/h
Üretilen elektrik enerjisinin maliyeti	0.531	TL/kW
Üretilen ısı enerjisinin maliyeti	0.095	TL/kW
Tesiste üretilen toplam gücün maliyeti	0.081	TL/kW
Tesisin verimi	% 64.28	

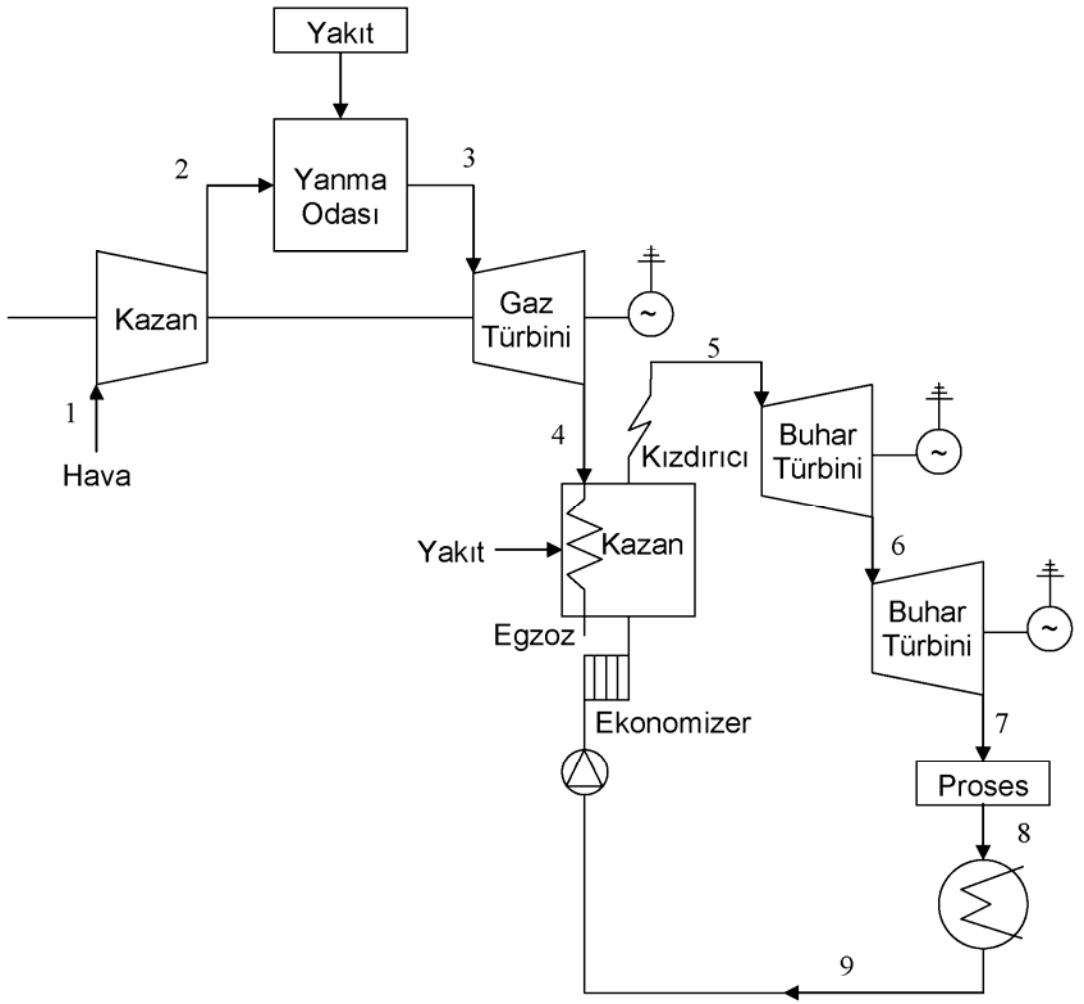
3.3.1 Gaz Türbini Hesaplamaları

Gaz türbini tasarım parametreleri

Kompresör giriş sıcaklığı:	15 °C (288 K)
Kompresör giriş basıncı:	1 bar
Türbin giriş sıcaklığı:	1200 °C (1473 K)
Kompresör verimi:	$\eta_k = 0.88$
Türbin verimi:	$\eta_t = 0.91$
Jeneratör verimi:	$\eta_j = 0.99$
Yanma odası verimi:	$\eta_{yo} = 0.98$
Mekanik verim:	$\eta_m = 0.98$
Elektrik gücü:	$\dot{W}_{el} = 20000 \text{ kW}$
Sıkıştırma oranı:	$r_p = 20$
Özgül ısıları oranı:	$k = 1.4$
Yakıt fiyatı	$C_F = 0.67 \text{ TL/m}^3 \text{ yakıt}$



Şekil 3.6 Gaz türbini şeması



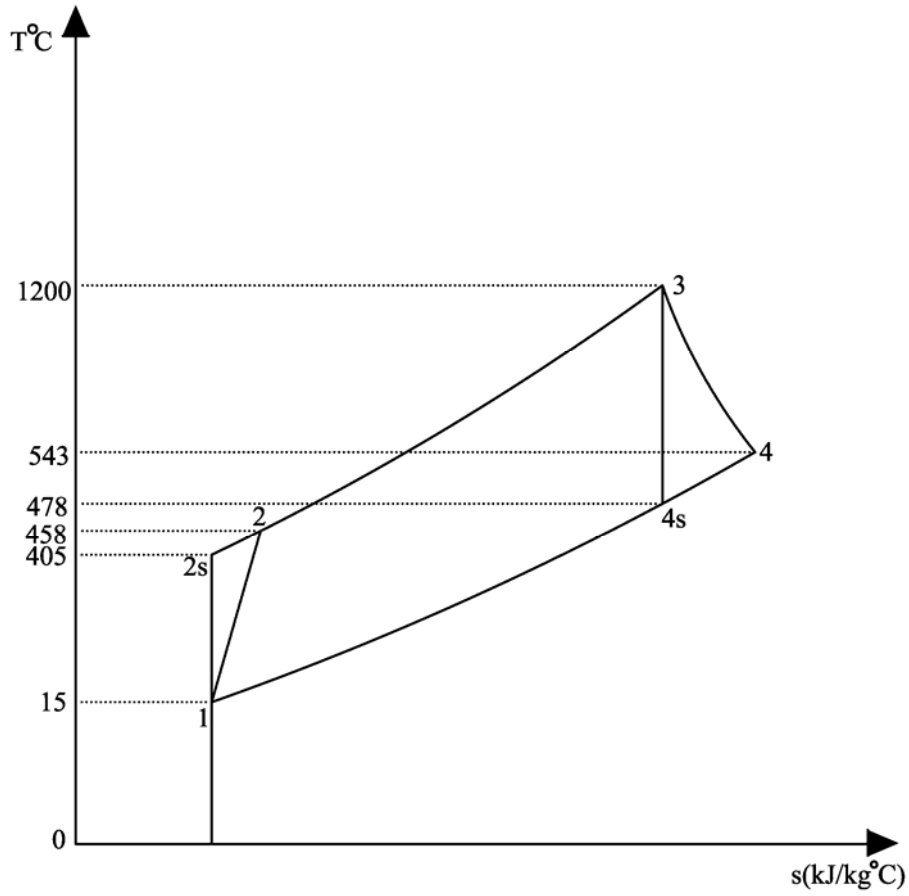
Şekil 3.7 Yapılması planlanan enerji üretim tesisi şeması

Kompresör çıkış sıcaklığının hesabı:

Kompresörde adyabatik sıkıştırma yapıldığı kaldığı kabulü ile ;

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(r_p\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3.8)$$

$$r_p = \left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (3.9)$$



Şekil 3.8 Gaz türbini T-s grafiği

Buradan $T_{2s} = T_1 \cdot r_p^{\frac{k-1}{k}}$ dir. (3.10)

$$T_{2s} = 678 \text{ K}$$

olarak bulunur.

$$\eta_K = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \text{ olduğundan Buradan; } T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta_K} \quad (3.11)$$

$$T_2 = 731 \text{ K}$$

olarak bulunur.

Türbin Çıkış Sıcaklığının hesabı:

$$\frac{T_{4s}}{T_3} = \left[\left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$\Delta T_s = T_3 \left[1 - \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

$$\Delta T_s = 751 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 - (\eta_T \Delta T_s) \quad (3.13)$$

$$T_4 = 816 \text{ K}$$

olarak bulunur.

Kompresör İş:

$$w_k = h_{2s} - h_1 = C_p \cdot (T_{2s} - T_1) \quad (3.14)$$

$$w_k = h_2 - h_1 = \frac{1}{\eta_k} (h_{2s} - h_1) = \frac{1}{\eta_k} C_p T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (3.15)$$

$$w_k = 458.13 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur.

Türbin işi:

$$w_T = h_3 - h_{4s} = C_p \cdot \eta_t \cdot (T_3 - T_{4s}) \quad (3.16)$$

$$w_T = h_3 - h_4$$

$$w_T = \eta_t (h_3 - h_{4s}) = C_p \cdot (T_3 - T_{4s}) \cdot \eta_t = T_3 \cdot C_p \cdot \left[\left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \cdot \eta_t \quad (3.17)$$

$$w_t = 769.76 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur.

Gaz Türbinden Elde Edilen Net İş:

$$W_{\text{net}} = W_t - W_k \quad (3.18)$$

$$w_{\text{net}} = 311.63 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur.

Yanma Odasına Verilen Isı:

$$q_{\text{yo1}} = h_3 - h_2 \quad (3.19)$$

$$q_{\text{yo1}} = 863.51 \text{ kJ/kg}$$

olarak bulunur.

Tesisin Isıl Verimi:

$$\eta_{\text{gç}} = \left(\frac{w_t - w_k}{q_{\text{yo}}} \right) \cdot \eta_j \cdot \eta_{\text{yo}} \quad (3.20)$$

(3.20) numaralı denklemden gaz türbini ısı verimi % 35.02 olarak hesaplanır.

Yakıt Tüketimi:

Tesisin gaz çevriminde toplam 20 MW elektrik üretilmesi planlanmaktadır. Buna göre yakıt tüketimi hesabı yapılırsa:

$$H_u = 34485 \text{ kJ/m}^3$$

$$\dot{W}_{el} = \dot{V}_y \cdot H_u \cdot \eta_{gç} \quad (3.20)$$

$$\dot{V}_y = 5960 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak hesaplanır.

İş Akışkanı Debisi:

$$\dot{W}_{el} = w_{net} \cdot \dot{V}_{h+y}$$

$$20000 = (311.63) \cdot \dot{V}_{h+y}$$

$$\dot{V}_{h+y} = 231000 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak elde edilir.

Egzost Gazı Debisi:

$$\dot{V}_h = \dot{V}_{h+y} - \dot{V}_y \quad (3.22)$$

$$\dot{V}_h = 225040 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak elde edilir.

Yakıt hava Oranı:

$$\lambda = \frac{\dot{V}_y}{\dot{V}_{h+y}} \quad (3.23)$$

$$\lambda = 0.0258$$

olarak bulunur.

3.3.2 Gaz Türbini İçin Elde Edilen Sonuçlar

Gaz çeviriminden elde edilebilecek toplam güç	: $\dot{W}_{el} = 20 \text{ MW}$
Kompresör hava giriş sıcaklığı	: $T_1 = 288 \text{ K}$
Kompresör hava çıkış sıcaklığı	: $T_2 = 731 \text{ K}$
Türbin giriş sıcaklığı	: $T_3 = 1473 \text{ K}$
Türbin çıkış sıcaklığı	: $T_4 = 816 \text{ K}$
Kompresör işi	: $w_k = 458.13 \text{ kJ/kg}$
Türbin işi	: $w_t = 769.76 \text{ kJ/kg}$
Net iş	: $w_{net} = 311.63 \text{ kJ/kg}$
Sıkıştırma oranı	: $r_p = 20$
Yanma odasında verilen ısı	: $q_{yo} = 863.51 \text{ kJ/kg}$
Gaz çevrimi ısı verimi	: $\eta_{gç} = \% 35.02$
İş akışkan debisi	: $\dot{V}_{h+y} = 231000 \text{ m}^3/\text{h}$
Yakıt tüketimi	: $\dot{V}_y = 5960 \text{ m}^3/\text{h}$
Egzoz gazı debisi	: $\dot{V}_h = 225040 \text{ m}^3/\text{h}$
Yakıt hava oranı	: $\lambda = 0.0258$

3.3.3 Buhar Çevrimi Hesaplamaları

Gaz çevriminden elde edilen yanma gazlarına buhar kazanında istenilen sıcaklık ve basıncı elde edebilmek için bir miktar yakıt ilavesi yapılmaktadır. Bu suretle buhar

kazanında elde edilen kızgın buhar ise tesise konulan öncü buhar türbini ve tesisteki buhar türbininden geçirilerek elektrik enerjisi elde edilmektedir. Öncü buhar türbininden geçirilen buhar 18 bar 400 °C'ye kadar genişledikten sonra mevcut tesiste bulunan buhar türbinlerinden geçirilerek 2 bar 160 °C'de ısı enerjisinden yararlanmak amacıyla proses üretimine gönderilmektedir.

Gaz çevriminde; gaz debisi, yanma odası yakıt miktarı, yakıt/hava oranı ve gaz türbini verimi gibi parametreler hesap edilmiştir. Buhar çevriminde ise kazandan 241 bar ve 600 °C sıcaklığında 32000 kg/h kızgın buhar üretilmesi istenilmektedir.

Buhar Türbini ve kazanı Hesaplamaları:

$$P_1 = 241 \text{ bar (24.1 MPa)} \quad P_2 = 18 \text{ bar (1.8 MPa)} \quad P_4 = 2 \text{ bar (0.2 MPa)}$$

$$T = 600 \text{ °C} \quad T_2 = 400 \text{ °C} \quad T_4 = 160 \text{ °C}$$

$$h = 3487 \text{ kJ/ kg} \quad h = 3207 \text{ kJ/ kg} \quad h = 2789 \text{ kJ/kg}$$

Kazan besleme suyunun sıcaklığı 110 °C olduğuna göre kazan besleme suyunun entalpisi doymuş buhar tablosundan $h = 459.8 \text{ kJ/kg}$ olarak bulunur.

Tesise konulması planlanan yüksek basınçlı kazanın ısı ihtiyacı:

Tesiste kullanılması düşünülen buhar kazanının ısı ihtiyacı (3.1) nolu formül yardımıyla hesaplanır.

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_b \cdot (h_5 - h_9) \quad (3.1)$$

$$\dot{Q}_k = 26910 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Yanma Odası Hesaplamaları:

Kazandan 241 bar basıncında ve 600 °C sıcaklığında kızgın buhar üretilmesi istenilmektedir. Gaz türbininden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları kazanda ısısının büyük bir kısmını bırakırlar. Egzoz gazlarının kazandan çıkış sıcaklığı 423 K'dır.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\phi \quad (3.23)$$

$$\sum \dot{m}_b \cdot h_b = \sum \rho \dot{V}_h \cdot h_h \quad (3.24)$$

$$\dot{m}_b \cdot \rho_b (h_5 - h_9) = \rho \dot{V}_h (h_4 - h_{eg}) \quad (3.25)$$

$$\dot{V}_h = 233101 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak hesaplanır.

Gaz türbini tasarım hesaplamalarında yakıt/hava oranı 0,0258 olarak hesap edildiği için tesiste 214 bar ve 600 °C sıcaklığında 32000 m³/h buhar üretebilmek için kazana verilmesi gereken ek yakıt miktarı

$$\dot{V}_{y_2} = 54 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak yapılan hesaplama sonucu bulunur.

Toplam gaz miktarı:

$$\dot{V}_h = 2093 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tesise konulan öncü türbinden saatte elde edilen güç:

Tesise konulan öncü türbin hesabı (3.2) nolu formülden;

$$\dot{W}_{el1} = \dot{m}_b (h_5 - h_6) \cdot \eta_j$$

Yapılan hesaplama sonucu

$$\dot{W}_{el1} = 2464 \text{ kW}$$

olarak bulunur..

Tesisteki mevcut türbinlerden elde edilen saatlik güç ise

$$\dot{W}_{el2} = \dot{m}_b (h_6 - h_7) \cdot \eta_j$$

$$\dot{W}_{el2} = 3680 \text{ kW}$$

olarak hesap edilir..

Buhar çevriminden elde edilecek toplam güç ise

$$\dot{W}_{top} = \dot{W}_{el1} + \dot{W}_{el2} \quad (3.26)$$

$$\dot{W}_{top} = 6144 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Pompa gücü:

Tesise konulan besleme suyu pompa gücü (3.3) ve (3.4) nolu formüllerden

$$\dot{W}_p = \dot{m}_{bes} \cdot (h_9 - h_8)$$

$$h_9 = h_8 + v(P_9 - P_8)$$

$$\dot{W}_p = 224 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Tesiste kullanılan saatlik ısı enerjisi miktarı:

Tesiste kullanılan ısı enerjisi miktarı (3.5) nolu formülden;

$$\dot{W}_{\text{ısı}} = \dot{m}_{\text{bes}} (h_7 - h_8) \cdot \eta_m$$

$$\dot{W}_{\text{ısı}} = 20500 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Kombine çevriminde enerjiden yararlanma oranı:

$$\epsilon_y = \frac{\dot{W}_{\text{el}} + \dot{W}_{\text{el1}} + \dot{W}_{\text{el2}} + \dot{W}_{\text{ısı}} - \dot{W}_p}{\dot{m}_y H_u} \quad (3.27)$$

$$\epsilon_y = \%80.58$$

Tesisin yakıt Sarfiyatı:

$$\dot{V}_y = \dot{V}_{y01} + \dot{V}_{y02} \quad (3.28)$$

$$\dot{V}_y = 6014 \text{ m}^3/\text{h}$$

olarak bulunur.

Tesisteki yakma havası sarfiyatı:

$$\dot{V}_h = 233100 \text{ m}^3/\text{h}$$

Yeni Tesisin Enerji Üretim Maliyeti:

Proses ve buhar üreten sanayi tesislerinde BOTAŞ'ın vermiş olduğu doğal gaz fiyatı 0.67 TL/m³'tür.

$$\text{Maliyet} = \text{Harcanan yakıt fiyatı} / \text{Üretilen enerji miktarı} \quad (3.7)$$

$$C_{EM} = 0.1541 \text{ TL/kWh}$$

olarak elde edilir.

Isı enerjisi maliyeti:

$$C_{IM} = 0.1965 \text{ TL/kWh}$$

Tesisin toplam enerji maliyeti:

$$C_M = 0.086 \text{ TL/kWh}$$

3.3.4 Buhar çevrimi İçin Elde Edilen Sonuçlar:

Buhar kazanı ısı ihtiyacı	: $\dot{Q}_k = 26910 \text{ kW}$
Yanma odası yakıt miktarı	: $\dot{V}_{y2} = 54 \text{ m}^3/\text{h}$
Yanma odasına gönderilen hava miktarı	: $\dot{V}_{h2} = 2093 \text{ m}^3/\text{h}$
Öncü türbinden elde edilen güç	: $\dot{W}_{el1} = 2464 \text{ kW}$
Tesisteki türbinlerden elde edilen güç	: $\dot{W}_{el2} = 3680 \text{ kW}$
Buhar çevriminden elde edilen güç	: $\dot{W}_{top} = 6144 \text{ kW}$
Pompa gücü	: $\dot{W}_p = 224 \text{ kW}$
Tesiste kullanılan ısı enerjisi	: $\dot{W}_{isi} = 20500 \text{ kW}$
Kombine çevrimin enerjiden yararlanma oranı	: $\varepsilon_t = \% 80.58$

Tesisin yakıt sarfıyatı	:	$\dot{V}_y = 6014 \text{ m}^3/\text{h}$
Tesisin yakma havası sarfıyatı	:	$\dot{V}_{h+y} = 233100 \text{ m}^3/\text{h}$
Tesisin elektrik enerjisi üretim maliyeti	:	$C_{EM} = 0.154 \text{ TL/kWh}$
Tesisin ısı enerjisi üretim maliyeti	:	$C_{IM} = 0.086 \text{ TL/kWh}$

3.3.5 Tasarımı Yapılan kombine çevrim santralının ekonomik analizleri

Kojenerasyon tesislerinin ilk yatırım maliyetleri sistemin tipine ve istenilen kapasiteye bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Aynı kapasite değerleri için kombine tesisin yalnızca bir buhar türbini veya gaz türbini ile kurulacak bir kojenerasyon tesisinden daha ucuz olduğu bilinmektedir. Bu ise kısa ve uzun vadede önemli bir fiyat avantajı ortaya çıkarmaktadır (Akdeniz, 2007).

Çizelge 3.4 Kombine çevrimli kojenerasyon sisteminin her aşamadaki değeri

Referans alınan nokta	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (K)	Basınç (bar)	Basınç (MPa)	Entalpisi (kJ/kg)
1	15	288	1	0.1	285.14
2	458	731	20	2	459.61
3	1200	1473	20	2	1277.79
4	543	816	1	1	547.51
5	600	873	241	24.1	3487
6	400	673	18	1.8	3207
7	160	433	2	0.2	2789
8	110	383	1	0.1	459.8
9	110	383	1	0.1	485.04

Kombine çevrimli birleşik ısı güç santrallerinde kurulum ve işletme maliyetini hesaplayabilmek için kurulu güç 350–400 \$/kW alınarak hesaplamalar yapılabilmektedir (Egeli ve Gürel, 2003).Tasarımı düşünülen santral kombine çevrim santrallerine göre daha küçük bir santraldir. Bu nedenle santralin maliyeti için kurulu güç bedelini 550 \$/kW olarak almak daha gerçekçi bir sonuç elde edebilmek için uygun bir değerdir.

Tesisin ekonomik analizi yapılırken; elektrik ve ısı üretimi gelirler, yakıt bakım ve işletme ile amortisman bedeli giderler hanesine yazılarak yatırımın geri dönüşümü hesaplanmıştır.

Tesisten üretilen elektrik enerjisi miktarı:

Tesisten üretilen elektrik enerjisi miktarı (3.26) nolu formülden hesaplanılır.

$$\dot{W}_{TOP} = \dot{W}_{el} + \dot{W}_{top}$$

$$\dot{W}_{TOP} = 26144 \text{ kW}$$

olarak bulunur.

Çizelge 3.5 Kombine çevrimli kojenerasyon tesisine ait genel bilgiler

	Simge	Bulunan değer	
Kompresör basınç oranı	r_p	20	
Yakıt hava karışım oranı	λ	0.0258	
Yakıt akış debisi	\dot{V}_h	6014	m^3/h
Havanın akış debisi	\dot{V}_h	227086	m^3/h
Buhar miktarı	\dot{m}_b	32000	kg/h
Tesiste üretilen elektrik enerjisi	\dot{W}_{TOP}	26144	kW
Tesiste üretilen ısı enerjisi	\dot{W}_{ISI}	20500	kW
Tesisin elektrik enerjisi maliyeti	C_{EM}	0.1541	TL/kWh
Tesisin ısı enerjisi maliyeti	C_{IM}	0.1965	TL/kWh
Tesisin enerji maliyeti	C_M	0.086	TL/kWh
Pompanın çektiği enerji	\dot{W}_p	224	kW
Enerjiden yararlanma oranı	ε_y	%80.58	
Kazanın ısı ihtiyacı	\dot{Q}_k	26910	kW

Tesisin toplam yatırım maliyeti (TYM):

Kombine çevrimli santrallerde yatırım hesabının yapılabilmesi için öncelikle tesisin kurulu güç fiyatının bilinmesi gerekir. Büyük elektrik üretim yapabilme kapasitesine sahip kombine çevrimli santrallerde kurulu güç fiyatı 350–400 \$/kW olarak alınarak hesaplamalar yapılabilmektedir (Egeli ve Gürel, 1996)

Tasarımı yapılan Tasarımı düşünülen santral kombine çevrim santrallerine göre daha küçük bir santraldir. Bu nedenle santralin maliyeti için kurulu güç bedelini 550 \$/kW olarak almak daha gerçekçi bir sonuç elde edebilmek için uygun bir değerdir.

$$TYM= \text{Kurulu güç fiyatı} \times \text{Tesisin üreteceği elektrik enerjisi miktarı} \quad (3.28)$$

$$TYM= 14380000\$ \quad (\$= 1.6 \text{ TL})$$

$$TYM= 23008000 \text{ TL}$$

olarak bulunur.

Tesisin yıllık elektrik üretimi:

$$E_{\dot{u}}= \dot{W}_{\text{TOP}} \cdot t \quad (3.29)$$

$$E_{\dot{u}} \quad : \quad \text{Yıllık elektrik üretimi} \quad (\text{kWh/yıl})$$

$$\dot{W}_{\text{top}} \quad : \quad \text{Tesisin saatlik elektrik üretimi} \quad (\text{kW})$$

$$t \quad : \quad \text{Tesisin yıllık çalışma süresi} \quad (\text{h})$$

$$E_{\dot{u}}= 34510080 \text{ kWh/yıl}$$

olarak hesaplanır.

Tesisteki yıllık elektrik tüketimi:

Tesiste şeker üretimi sırasında çalışan pompaların ve sosyal tesislerde kullanılan saatlik elektrik tüketimi yaklaşık olarak 3300 kW alınarak;

$$E_T=4356000 \text{ kWh/yıl}$$

olarak bulunur.

Tesisteki elektrik üretimi fazlalığı:

$$E_{\text{net}}= E_u-E_T \quad (3.30)$$

$$E_{\text{net}}= 30154080 \text{ kWh/yıl}$$

hesap edilir.

Tesisin yıllık elektrik kazancı:

$$C_{el}= \text{elektrik satış fiyatı} \times \text{yıllık üretilen elektrik} \quad (3.31)$$

Formüldeki değerler yerlerine koyulursa tesisin elektrik kazancı

$$C_{el} = 6211000 \text{ (TL/yıl)}$$

olarak hesaplanır.

Tesisin yıllık ısı kazancı :

$$C_{\text{ısı}}= \text{buhar maliyeti} \times \text{üretilen ısı güç} \times \text{çalışma süresi} \quad (3.32)$$

Tesisten üretilen 1 kg buharın maliyeti : 0.1259 TL

Tesisten üretilen ısı enerjisi : 27060000 kWh/yıl

$$C_{isi} = 3406000 \text{ TL/yıl}$$

olarak hesaplanır.

Tesisin yıllık yakıt gideri:

$$C_y = \text{yakıt fiyatı} \times \text{çalışma saati} \times \text{yakıt sarfiyatı} \quad (3.33)$$

$$C_y = \text{tesisin yıllık yakıt gideri} \quad (\text{TL/yıl})$$

$$\text{yakıt fiyatı} \quad : \quad 0.67 \quad (\text{TL/m}^3)$$

$$\text{Tesisin yıllık çalışma süresi} \quad : \quad 1320 \quad (\text{h/yıl})$$

$$\text{Tesisin yakıt sarfiyatı} \quad : \quad 6014 \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

Denklemdaki değerler yerlerine konulursa tesisin yıllık yakıt gideri:

$$C_y = 5319000 \text{ (TL/yıl)}$$

olarak hesaplanır.

Tesisten kazanılacak olan yıllık elektrik karı:

$$E_{kar} = \text{satılan elektrik birim fiyatı} \times \text{üretilen fazla elektrik miktarı} \quad (3.34)$$

$$E_{kar} \quad : \quad \text{tesisten satılacak elektrik tutarı} \quad (\text{TL/yıl})$$

$$E_{kar} = 5427735 \text{ (TL/yıl)}$$

olarak bulunur.

Tesisin bakım ve işletme gideri:

Tesise kurulan gaz türbini buhar kazanı ve öncü buhar türbininin garantili bakım antlaşması bedeli 0.02 TL/ kW olarak kabul edilirse; tesisin bakım ve işletme gideri

$$C_B = f_m \cdot \dot{W}_{top} \cdot t \quad (3.35)$$

denklemiyle ifade edilir. Burada;

C_B : Bakım ve işletme gideri

f_m : Garantili bakım antlaşması bedeli (TL/kW)

\dot{W}_{top} : Tesisin gücü (kWh)

t : Yıllık çalışma süresi (h/yıl)

$$C_B = 1232000 \text{ (TL/yıl)}$$

olarak bulunur.

Amortisman oranı ve Kar-Zarar Durumu:

Yıllık faiz %8 ile tesisin kullanım süresi $n_A = 20$ yıl olarak kabul edilirse;

amortisman oranı

$$C = \frac{i \cdot x \cdot (1+i)^{n_A}}{(1+i)^{n_A} - 1} \quad (3.36)$$

C : Amortisman oranı

i : Yıllık faiz

n_A : Tesisin kullanım süresi

$$C = 0.102$$

olarak bulunur.

Yıllık amortisman = amortisman oranı x yıllık yakıt tüketimi x bakım maliyeti (3.35)

$$C_A = 668000 \text{ TL/yıl}$$

olarak elde edilir.

Tesisin kendini geri ödeme süresi (G.Ö.S):

$$\text{Yatırımın kendini geri ödeme süresi} = \frac{\text{TYM}}{C_{el} + C_{ısı} - (C_Y + C_A + C_B)} \quad (3.36)$$

$$\text{G.Ö.S} = 9.60 \text{ yıl}$$

olarak bulunur.

3.3.6 Kombine çevrim santralının ekonomik analiz sonuçları

Tesiste üretilen toplam elektrik enerjisi	$\dot{W}_{TOP} = 26144 \text{ kW}$
Doğal gazın fiyatı	$C_F = 0.67 \text{ TL/m}^3$
Tesisin toplam yatırım maliyeti	$\text{TYM} = 23008000 \text{ TL}$
Tesisin kurulu güç kW fiyatı	$C_{KG} = 880 \text{ TL/kWh}$
Tesisin yıllık elektrik üretimi	$E_{\dot{u}} = 34510080 \text{ kWh/yıl}$
Tesisin yıllık çalışma süresi	$t = 1320 \text{ h}$
Tesisteki yıllık elektrik tüketimi	$E_t = 4356000 \text{ kWh/yıl}$
Tesisteki yıllık net elektrik üretimi	$E_{NET} = 30154080 \text{ kWh/yıl}$
Tesisin elektrik kazancı	$C_{el} = 6211000 \text{ TL/yıl}$
Elektrik fiyatı	$C_{es} = 0.18 \text{ TL/kWh}$
Tesisin ısı kazancı	$C_{ısı} = 3406000 \text{ TL/yıl}$
Tesisin yakıt sarfıyatı	$\dot{V}_y = 6014 \text{ m}^3/\text{h}$
Tesisten alınacak olan yıllık elektrik karı	$C_{kar} = 5427735 \text{ TL/yıl}$
Yıllık faiz oranı	$i = \%8$

Tesisin kullanım Süresi	n_A	= 20 yıl
Amortisman oranı	C	= 0.102
Yıllık amortisman maliyeti	C_A	= 668000 TL
Santralin bakım ve işletme gideri	C_B	= 1232000 TL
Garantili bakım antlaşması bedeli	f_m	= 0.02 TL/kWh
Tesisin kendini geri ödeme süresi		9.60 yıl

Gaz türbinli kombine çevrimli kojenerasyon tesisi şeker fabrikasındaki buhar kazanlı kojenerasyon tesisi ile karşılaştırılması çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.6 Mevcut tesis ve Kombine çevrimli Tesisin Karşılaştırılmaları

	Mevcut Tesis		Kombine çevrimli tesis	
Üretilen elektrik enerjisi	3680	kW	26144	kW
Üretilen ısı enerjisi	2050	kW	20500	kW
Tesisin yakıt sarfiyatı	6741	kg/h	6014	m ³ /h
Üretilen elektrik fiyatı	0.531	TL/kW	0.1541	TL/kWh
Tesisin enerjiden yararlanma oranı	%64.24		%80.58	

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Alpullu Şeker Fabrikası, Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi'ne bağlı ısı ve elektriğin bir arada üretildiği kojenerasyon (birleşik ısı- güç) sistemiyle çalışan bir fabrikadır. Fabrikada bulunan iki adet 16 t/h buhar üretimi kapasiteli buhar kazanlarının yerine gaz türbinli kombine çevrimli bir kojenerasyon sistemi tasarlanmıştır. Bu tasarımda gaz türbininden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları, bir buhar kazanına gönderilerek kazana yakıt ilavesi ile istenilen basınçta ve sıcaklıkta kızgın buhar elde edilmektedir. Buhar kazanında üretilen yüksek basınçlı buhar tesise konulan öncü türbin ve mevcut tesiste bulunan buhar türbininden geçirilerek elektrik enerjisi üretilmektedir. Türbinden çıkan 2 bar basınç ve 160 °C sıcaklığındaki buharın ısı enerjisinden tesiste proses üretiminde yararlanılmaktadır.

Sistemin tasarımı yapılırken, mevcut sistemler göz önüne alınarak gerçek ve uygulanabilir değerlere ulaşılmaya çalışılmıştır. Gaz çevrimi 20 MW, buhar Çevrimi ise 241 bar basınç ve 600 °C sıcaklığındaki buhara göre tasarlanmıştır.

Gaz çevrimi hesaplamaları yapılırken; kompresör giriş sıcaklığı $T_1 = 15$ °C, türbin giriş sıcaklığı $T_3 = 1200$ °C, $\eta_k = 0.88$, $\eta_t = 0.91$, $\eta_j = 0.99$, $\eta_{yo} = 0.98$ ve sıkıştırma oranı 20 alınarak, kompresör çıkış sıcaklığı $T_2 = 358$ °C, türbin çıkış sıcaklığı $T_4 = 543$ °C, gaz türbini verimi % 35.02 ve yakıt miktarı $\dot{V}_{y1} = 5960$ m³/h olarak hesap edilmiştir.

Buhar çevriminde ise kazanda üretilmesi istenilen kızgın buhar için yanma odasına verilmesi gereken ek yakıt miktarı $\dot{V}_{y2} = 54$ m³/h, kazanda üretilen buharın sistemdeki buhar türbinlerinde iş görebilmesi için kazana gönderilmesi gereken ek hava miktarı $\dot{V}_{h2} = 2093$ m³/h olarak hesap edilmiştir.

Buhar türbini hesaplamalarında ise tesise eklenen yüksek basınçlı buhar türbininden ve mevcut karşı buhar türbininden elde edilen toplam elektrik enerjisi 6144 kW olarak elde edilmiştir.

Tesisteki karşı basınçlı buhar türbinlerinden çıkan 2 bar basınçlı ve 160 °C'deki buhardan tesiste kullanılan ısı enerjisi 20500 kW olarak hesap edilmiştir.

Tesisteki besleme suyu pompasının kazanlara suyu basmak için harcamış olduğu elektrik enerjisi de 210 kW olarak hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalardan sonra kombine çevrimde enerjiden yararlanma oranı % 80,58 olarak bulunmuştur.

Kombine tesisin tasarımında son olarak tesiste harcanan yakıt miktarı da 6014 m³/h olarak hesap edilmiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak kombine çevrimde üretilen elektrik enerjisinin maliyeti, 0.1541 TL/kWh olarak bulunmuştur.

Ekonomik Bulgular

Tesisin ekonomik analizi yapılırken, kombine çevrim tesisleri için kurulu güç fiyatı 880 TL/kW, doğal gaz fiyatı 0.67 TL/m³, Elektrik fiyatı 0.18 TL/kW olarak bulunmuştur. Bu parametreler göz önüne alınarak tasarım hesaplamalarındaki sonuçlar doğrultusunda tesisin yatırım maliyeti, 23008000 TL olarak hesap edilmiştir. Daha sonra tesisten üretilen yıllık elektrik miktarı, tesisten üretilen ısı enerjisi miktarı, tesisin yıllık yakıt sarfiyatı, tesisten satılması planlanan elektrik üretim fiyatı, tesisin yıllık amortismanı, tesisin bakım ve işletme giderleri hesap edilmiştir. Bulunan değerler sonucunda tesisin kendini geri ödeme süresi 9.60 yıl olarak bulunmuştur.

Geri ödeme süresinin bu kadar uzun olma sebebi fabrikanın pancar kesme kampanyasının kısa sürmesidir. Fabrikaya verilen şeker kotası 200000 ton kadardır. Bu da fabrikanın yılda 55 gün çalışması anlamına gelmektedir. Fabrikanın pancar kotası arttırılırsa geri ödeme süresi daha da kısalmaktadır. Tasarımı yapılan gaz türbinli kojenerasyon tesisinin daha verimli olarak çalışmasına imkân sağlayacaktır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Günümüzde elektrik ihtiyacını karşılama için gerek birincil enerji kaynaklarından, gerekse yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Ancak yetersiz kalmaya başlayan bu kaynaklar karşısında yeni arayışlara gidilmektedir. Bu amaçla çalışmalar yapılırken elde edilecek sistemler maliyet bakımından mevcut sistemlerden daha ucuz ve daha yüksek randımanlı olmalıdır. Hem güç hem de ısı üretilen kojenerasyon teknolojilerinde bu özellik bulunmaktadır. Kojenerasyon tesislerinde kullanılan teknolojilerde, elektrik veriminin % 35–40 arasında değiştiği görülmektedir. Atık ısının buhar türbinlerinde değerlendirildiği gaz türbinli kombine çevrimde ise elektrik verimi % 55 civarına kadar yükselebilmektedir. Elde edilen ısı enerjisi, proses buharının temini ve kapalı alan ısıtılması için kullanıldığında sistemden elde edilen toplam verim % 90 mertebelerine yaklaşmaktadır. Gaz türbinli kombine çevrimli, ilk tesis kurulum ve bakım maliyeti açısından diğer teknolojiler ile karşılaştırıldığında en iyi seçenek olduğu görülmektedir.

Kojenerasyon sistemleri uzun yıllardır ülkeler tarafından kullanılmaktadırlar. Ucuz enerji üretimi, kullanım rahatlığı, çevreye daha az zararlı salınımlar yapması gibi sebeplerinden ötürü kojenerasyon tesisleri tercih edilmektedir. Kojenerasyon konusunda dikkat edilmesi gereken tek nokta, yakıtın dış ülkelere bağlı olmasıdır.

Bu çalışmada Alpullu Şeker Fabrikasında bulunan katı yakıtlı 16 t/h buhar üretme kapasitesine sahip iki adet buhar kazanı yerine gaz türbinli kombine çevrimli kojenerasyon sistemi tasarımı yapılmıştır. Kojenerasyon sisteminde kullanılacak yakıt olarak doğal gaz seçilmiştir. Yakıt seçimi yapıldıktan sonra tasarımı yapılan tesisin öncelikle hava kompresörü, yanma odası, gaz türbini, buhar kazanı ve buhar türbinlerinden oluşan ana ünitelerinin termodinamik analizi yapılmıştır. Daha sonra tasarımı yapılan sistemin parametreleri belirlenerek tesisteki ünitelerin her birinin için giriş ve çıkış noktaları için basınç, sıcaklık ve entalpi değerleri hesaplanmıştır.

Üretmiş olacağı fazla elektrik enerjisini ülke ekonomisine kazandırılmasının amaçlandığı kombine çevrimli kojenerasyon tesisi için yapılan termodinamik

analizler yardımıyla elde edilen sonuçlar aracılığıyla kombine çevrimli kojenerasyon tesisinin ekonomik analizleri yapılmıştır.

Kombine çevrimli kojenerasyon tesisinde yatırım maliyeti birim kurulu güç fiyatının kombine çevrimli kojenerasyonlu sistemlerde 880 TL/kWh olduğundan yola çıkılarak tesisin yatırım maliyeti hesaplanmıştır. Kombine çevrimli kojenerasyon tesisinde yıllık olarak harcanan yakıt miktarı 5319000 TL/yıl, tesisin yıllık amortisman maliyeti 668000 TL/yıl ve santralin bakım ve işletme gideri 1232000 TL/yıl olarak bulunmuştur. Tesiste üretilecek olan elektrik enerjisinin 6211000 TL/yıl ve ısı enerjisinin 3406000 TL/yıl olduğu bulunmuştur.

Ekonomik analizler sonucunda kombine çevrimli kojenerasyon tesisinin kendini geri ödeme süresi 9.60 yıl olarak bulunmuştur.

Ekonomik analizler sonucunda Şeker fabrikasının pancar kesme döneminde yıllık olarak üreteceği elektrik miktarı 34510080 kWh/yıl ve tesisteki ısı üretimi 27060000 kWh/yıl olarak bulunmuş, pancar kesme döneminde tesisteki makine elemanlarının ve sosyal tesislerin harcadığı elektrik 4356000 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Kombine çevrimli kojenerasyon tesisinden pancar kesme döneminde üretilecek fazladan elektrik miktarı 30154080 kWh/yıl'dır. Üretilen bu fazladan elektriğin TEDAŞ'a satılması düşünülmüştür. Bu da fabrikaya pancar kesme dönemi boyunca üretilen ihtiyaç fazlası elektrik 5427736 TL/yıl olarak ekonomik katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak şeker fabrikasındaki mevcut katı yakıtlı kojenerasyon tesisinin yerine gaz türbinli kombine çevrimli kojenerasyon tesisi kurulması durumunda tesiste üretilen ihtiyaç fazlası elektriğin dışarıya satılmasıyla hem mevcut tesis hem de ülke ekonomisi için katkı sağlanacağı hedeflenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Akdeniz. N., Bayhan M., Acar M., Üçgöl. İ. "Doğal Gazlı kojenerasyon Sisteminin Termodinamik Analizi ve Süleyman Demirel Üniversitesi Örneği", VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TESKON 2007, S.901–914, İZMİR.
- Ağabay, Ö., 1995. Kojenerasyon Teknolojileri, Doğal Gaz, 25. s,
- Anonim, 1995. Sanayide Enerji Tasarrufu, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Genel Müdürlüğü, Ankara
- Anonim, 1970. Şeker Teknisyenleri El Kitabı, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Genel Müdürlüğü, Ankara
- Anonim, 2008. dersimiz kimya.com. ,internet sitesi. http://www.dersimizkimya.com/kimya_odevleri_pdf/kogenerasyon.pdf. Erişim Tarihi 11-11-2008
- Anonim, 2008. Babcock internet sitesi. <http://www.babcock.com/products/boilers/Pfi.html>. Erişim Tarihi 21-09-2008
- Anonim, 2008. Botaş internet sitesi.Doğal Gaz Satış Tarifesi <http://www.botas.gov.tr/>. Erişim tarihi 21–09–2008.
- Anonim, 2007. gepower internet sitesi. http://www.gepower.com/prodsev/products/-/tech_docs/en/downloads/ger3582e.pdf . Erişim tarihi 27–09–2008.
- Anonim, 2008. Siterm internet sitesi. <http://www.siterm.com> Erişim tarihi 11-08-2008
- Anonim, 2008. Kojenerasyon.com <http://www.kojenerasyon.com/htmls/kojensayfa.htm> Erişim Tarihi 06-07-2008.
- Çalışıcı, M., Ü., 2005. Kojenerasyon Sistemleri ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Kojenerasyon Sisteminin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 109s, Hatay
- Çengel, Y., A. ve Boles, M., A., Çeviren Darbentli, T., 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw-Hill-Liteatür Yayıncılık, 837s, İstanbul.
- Egeli, M., S. ve Özgürel, B., 1996. Doğal Gaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri, Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı132, 29-45s, İstanbul
- Egeli, M., S. ve Özgürel, B., 1995.Kombine Çevrim, Yüksek Verim, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliği, Denizli.
- Ergezen, M., D., 2001. Enerji Üretiminde Kojenerasyon Teknolojilerinin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, İstanbul

- Eriten, N., 1998. Doğal Gaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santrallerinin Termik ve Ekonomik Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Isparta
- Gürhan, L., 2003. Kojenerasyon Sistemleri ve Amortisman Süresine Etki Eden Parametrelerin Analizi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 145s, İstanbul
- Işık, E. ve İnallı, M., 2005. Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler, Mühendis ve Makina, cilt 46, sayı 550, 22-20s
- Karakaş, K., 2002. Doğal Gaz ile Elektrik Enerjisi Üretimi ve Ekonomik Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 149s, Isparta
- Nurveren, K., 2001. Bor Şeker Fabrikası Buharlaştırma Sistemlerinin Ekserji Analizi Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Niğde Orhan, İ., 2003. Kojenerasyon Tesislerinde Kullanılan Güç Teknolojileri, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Eskişehir.
- Özgürel, B., Egeli, M., S., 1996. "Doğal Gaz Yakıtlı Kombine Çevrim Santralleri" Tesisat Mühendisliği, 32-45, İstanbul)
- Özkan, M., 1982. Buhar Kazanları Isıl Hesaplamaları, Ankara Devlet Mühendislik Mimarlık Akademisi Yayını, Cilt: 1, 232s, Ankara
- Schneider, F., 1971. Şekerin Teknolojisi, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Yayınları, No:168, 1271s, Ankara
- Sönmez, A., 1998. Kojenerasyon Teknolojisi ve Bir Kombine Çevrim Santralinde Çalışma Şartlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 61s, İstanbul.
- Sürer, F., 2003. Kombine Gaz/Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinin Termodinamik ve Ekonomik Analizi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58s, İstanbul
- Tekeli, Ç., 2003. Gaz Türbinli Birleşik Isı-Güç Üretim Sistemlerinin Termodinamik Çözümlemesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, Gebze
- Tüten, T., 1988. Endüstriyel Elektrik Üretimi ve Gaz Türbinli Birleşik Isı- Güç Sistemleri, Doğal Gaz, 4, 16-19s
- Urbaniec, k., 1989. Modern Energy Economy in Beet Sugar Factories, Elsevier, 437s, Amsterdam
- Üçok, O., 1968. Kazan İşletmesi İşletme Tecrübelerinin Toplamı, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş yayınları, No:121, 367s, Ankara

Ünver, Ü. ve Kılıç, H., 2005. Bir Kombine Güç Santralının Termodinamik Analizi, Mühendis ve Makine, cilt 46 sayı 545, 47-56s

Üze, S., 1991. Bir İşletmede Enerji ve Kullanılabilir Enerji Çözümlemesi: Elazığ Şeker Fabrikası Örneği, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 139s, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Aykan İKİZOĞLU

Doğum Yeri ve Yılı: Kırklareli 1982

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dili: İngilizce



Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1992-2000

Lisans : 2001–2005

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

ORMAK : Mayıs 2006- Aralık 2006

T.Ş.F.A.Ş : Aralık 2006 -