

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNE ENERJİ SAĞLAYAN TERMİK  
SANTRALLERİN ANALİZİ**

**VOLKAN TÜRKMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. HASAN HÜSEYİN ERDEM**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNE ENERJİ SAĞLAYAN TERMİK**  
**SANTRALLERİN ANALİZİ**

Volkan TÜRKMEN tarafından hazırlanan tez çalışması 28.12.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGİN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Enerji geçmişten geleceğe bütün canlılar için bir ihtiyaç olmuştur ve olacaktır. Dinlenmeden beslenmeye, evimizden işimize, dünya ile iletişim kurmadan uzak yerlere ulaşmaya kadar her zaman ve her yerde enerji hayatımızın içinde bulunmaktadır. Bu yüzden enerjiyi nasıl ve ne kolaylıkta elde edebileceğimizin yollarını araştırmaktayız. Bir yandan yeni kaynaklar bulmaya çalışırken bir yandan da eski kaynaklardan nasıl daha fazla enerji elde edileceğini bulmaya çalışmaktayız.

Bu çalışmada da eski kaynakların nasıl daha verimli kullanılabileceğini aynı zamanda bilgi çağında olmamızın da artışıyla geliştirilen yazılımları kullanarak inceleyip literatüre yeni bir kaynak sağlamaya çalıştık.

Bu sayede tez çalışmamda bana danışmanlık yapan Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM' e desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca Hidromekanik ve Hidrolik Makineler Anabilim Dalı Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

Bu çalışmam boyunca 2. ve 5. Bölümlerde Engineering Thermodynamics 5th ed. Kitabından faydalandığım ve aynı zamanda Yıldız teknik üniversitesi Dekanı olan Prof. Dr. Yunus A. Çengel' e ve 6. Bölümde Enerji maliyeti adlı kitabından faydalandığım Nejat Aybers ve Bahri Şahin'e teşekkür ederim.

Son olarak bu tez çalışmam boyunca bana desteklerini esirgemeyen eşime, aileme, amirlerime ve iş arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Aralık, 2011

Volkan TÜRKMEN

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xiv
ÖZET.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti .....	3
1.2    Tezin Amacı .....	4
1.3    Hipotez.....	4
<b>BÖLÜM 2</b>	
GÜÇ ÇEVİRİMLERİ.....	5
2.1    Gaz Akışkanlı Güç Çevrimleri .....	6
2.1.1    İdeal Basit Brayton Çevrimi .....	6
2.2    Buhar Akışkanlı Güç Çevrimleri .....	9
2.2.1    İdeal Ara Buhar Almalı Rankine Çevrimi.....	9
2.2.2    Açık Besleme Suyu Isıtıcıları.....	10
2.2.3    Kapalı Besleme Suyu Isıtıcıları.....	10
2.3    Kojenerasyon .....	12
2.4    Kombine Çevrim (Birleşik Gaz- Buhar Güç Çevrimi).....	14
<b>BÖLÜM 3</b>	
CYCLE TEMPO.....	16
3.1    Cycle- Tempo'daki Bazı Ekipmanlar Hakkında Genel Bilgiler .....	18
3.1.1    Boiler (Kazan) .....	18

3.1.2	Rehetear (Ara Kızdırıcı).....	19
3.1.3	Türbin .....	20
3.1.4	Kondenser (Condenser).....	23
3.1.5	Besleme Suyu Isıtıcısı (Feed Water Heater, Flashed Heater) .....	25
3.1.6	Isı Eşanjörü (Heat Exchanger) .....	27
3.1.7	Pompa.....	30
3.1.8	Kuyu, Kaynak, Genişleme Vanası (Sink, Source, Expansion Valve) .....	31
3.1.9	Baca (Stack).....	33
3.1.10	Yanma Odası ( Combuster) .....	33
3.1.11	Vana (Valve).....	35
3.1.12	Dom (Drum) .....	36
3.1.13	Kompresör (Compressor) .....	37
3.1.14	Gaz Türbini.....	38
3.1.15	Jeneratör.....	38
3.1.16	Bağlantı Ekipmanları.....	39
3.1.16.1	Borular .....	39
3.1.16.2	Şaft .....	40
BÖLÜM 4		
KOMBİNE ISI VE GÜÇ SANTRALLERİ.....		41
4.1	Tanım .....	41
4.2	Uygulama Alanları .....	41
4.3	Sistem Çeşitleri.....	41
4.3.1	Büyük Ölçekli Kombine Isı ve Güç Santralleri .....	41
4.3.2	Küçük Ölçekli Kombine Isı ve Güç Santralleri .....	42
4.3.3	Mikro Kombine Isı ve Güç Santralleri .....	42
4.4	Kombine Isı ve Güç Santrallerinin Faydaları .....	42
4.4.1	Faydalanma Oranı Yönünden Faydaları .....	42
4.4.2	Çevresel Faydalar .....	44
4.4.3	Ekonomik Faydalar .....	45
BÖLÜM 5		
KONTROL HACİMLERİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ.....		46
5.1	1. Kanun .....	46
5.1.1	Sürekli Akışlı Açık Sistem .....	46
5.1.1.1	Enerjinin Korunumu .....	47
5.2	2.Kanun.....	48
5.3	Entropi .....	49
5.3.1	Entropinin Artışı .....	49
5.3.2	Kontrol Hacim İçin Entropi.....	50
5.3.3	2. Kanun Verimi ( $\eta_{II}$ ).....	54
5.3.4	Sürekli Akışlı Açık Sistemlerin 2. Kanun Çözümlemesi .....	54
BÖLÜM 6		
MALİYET HESAPLAMALARI.....		57

6.1	Faiz Hesapları .....	57
6.1.1	Nominal Ve Efektif Faiz Oranı .....	59
6.2	Farklı Para Akış Profillerine Göre Paranın Şimdiki ve Gelecek Değeri Arasındaki Bağlıntılar .....	59
6.2.1	Tek Bir Ödeme Durumu .....	59
6.2.2	Düzenli ve Periyodik Ödemeler Serisinin Gelecek Değeri .....	60
6.2.3	Düzenli ve Periyodik Ödemeler Serisini Şimdiki Değeri .....	61
6.2.4	Artan Ödemeler Serisinin Şimdiki Değeri .....	62
6.3	Yatırımların Ekonomik Değerini Ölçme Metodu .....	64
6.3.1	Şimdiki Değer Metodu.....	64
6.3.2	Yıllık Değer Metodu.....	65
6.3.3	Gelecek Değer Metodu .....	65
6.3.4	Geri Ödeme Oranı Metodu.....	66
6.3.5	Kazanç – Maliyet Oranı Metodu .....	66
6.4	Enerji Maliyeti .....	67
6.4.1	Enerji Üretim Maliyeti Hesabı.....	67
6.4.1.1	Yıllık Sermaye Masrafları .....	69
6.4.1.2	İşletme ve Bakım Maliyeti .....	71
6.4.1.3	Yakıt Masrafları .....	72
<b>BÖLÜM 7</b>		
<b>SANTRALLERİN KOJENERASYONA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ... .....</b>		<b>73</b>
7.1	Rankine Çevriminde COP İncelemesi .....	74
7.1.1	Buhar Alma Basıncına Göre $COP_{BI}$ .....	75
7.1.2	Çekilen Buhar Miktarına Göre COP.....	77
7.2	Kombine Çevrim Santrali .....	79
7.3	Ara Buhar Alma Durumunda.....	83
7.4	Maliyet Karşılaştırmaları.....	85
7.4.1	Santral Maliyeti .....	86
7.4.1.1	Yatırım Maliyeti (Sabit Yıllık Sermaye Maliyeti).....	86
7.4.1.2	Yakıt Maliyeti .....	88
7.4.1.3	İşletme ve Bakım Maliyeti .....	89
7.4.2	Bölgesel Isıtma Amaçlı Ara Buhar Almali Kombine Çevrim Santrali Maliyeti .....	89
7.4.2.1	Yatırım Maliyeti (Sabit Yıllık Sermaye Maliyeti).....	89
7.4.2.2	Yakıt Maliyeti .....	91
7.4.2.3	İşletme ve Bakım Maliyeti .....	92
<b>BÖLÜM 8</b>		
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>		<b>93</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>		<b>95</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>		<b>96</b>

## SİMGE LİSTESİ

---

$A$	Yıllık ödeme miktarı
$A_Q$	Kullanılabilir Isı
$b_a$	Lineer azalan ödemede yıllık anapara ödemesi
$b_t$	Yıllık anapara ödemesi
$BCR_1$	1 nolu yatırımın kazancının maliyetine oranı
$BCR_2$	2 nolu yatırımın kazancının maliyetine oranı
$B(t)$	t periyodu sonundaki kar
$C_{AW}$	Yıllık eşdeğer maliyet
$C_{FW}$	Gelecek değer maliyeti
$C_f$	Yıllık yakıt masrafları
$C_f(t)$	Değişken yıllık yakıt maliyeti
$c_f$	Fosil yakıtlar için birim enerji başına yakıt maliyeti
$C_k$	Yıllık sabit yatırım masrafları
$C_k(t)$	t yılına ait yıllık ödeme
$C_m$	Yıllık işletme ve bakım masrafları
$C_m(t)$	Değişken yıllık bakım masrafları
$C_{ort}$	Ortalama Özgül ısı
$COP_{Bl}$	Kazanılan ısı enerjisinin azalan elektrik enerjisine oranı
$C_{p,ort}$	Sabit basınçtaki ortalama özgül ısı
$C_p$	Sabit Basınçta özgül ısı
$C_{PW}$	Yatırımın şimdiki değeri
$C_T$	Yıllık toplam masraflar
$C_T(t)$	Zamanla değişebilen yıllık toplam masraflar
$C(t)$	t periyodu sonundaki ödeme veya masraflar
$C_{v,ort}$	Sabit hacimdeki ortalama özgül ısı
$dA$	Alan diferansiyeli
$dh$	Özgül entalpi diferansiyeli
$dS_{çevre}$	Çevre entropisinin diferansiyeli
$dS_{KH}$	Kontrol hacimdeki entropinin diferansiyeli
$dS$	Entropi diferansiyeli
$du$	Özgül iç enerji diferansiyeli
$dV$	Hacim diferansiyeli
$dv$	Özgül hacim diferansiyeli
$E$	Enerji miktarı

$E$	Yıllık üretilen elektrik miktarı
$E(t)$	Değişken yıllık elektrik üretimi
$F$	Yakıt fiyatını
$f_t$	Yıllık faiz ödemesi
$G$	Artan ödemeler serisinde yıllık ödeme artış miktarı
$g$	Yerçekimi ivmesi 9,81
$g$	Yıllık toplam masrafların yıllık toplam elektriğe oranı
$g_f$	Bir değere getirilmiş birim enerji maliyeti
$g_m$	Birim enerji başına bakım maliyeti
$h_ç$	Çıkış noktasında akışkanın özgül entalpisi
$h_ç$	Çıkış noktasındaki özgül entalpi değeri
$h_g$	Giriş noktasındaki özgül entalpi değeri
$h_g$	Giriş noktasında akışkanın özgül entalpisi
$H_u$	Yakıtın alt ısı değerini
$h$	Özgül entalpi
$I$	Tersinmezlik
$\dot{I}$	Birim zamanda tersinmezlik
$I_d$	İnşaat bedeli
$I_k$	Santralin inşaatı süresince, eskalasyon ve faiz yükleri de dahildir
$I_n$	n yıl sonundaki paranın değerindeki artış ve ya biriken faiz miktarı
$I_p$	Yatırımın şimdiki bedeli
$i$	faiz oranı
$i$	Birim kütle için tersinmezlik
$i_{ef}$	Efektif faiz oranı veya yıllık toplam faiz oranı
$j$	Enflasyon oranı
$k$	Ödemelerdeki yıllık artış yüzdesi
$k$	Özgül ısıların oranı, $C_p/C_v$
$ke$	Kinetik enerji miktarı
$L$	İnşaat süresi
$m$	1 yıl içindeki ödeme sayısı ya da ödeme periyodu
$\dot{m}_ç$	Çıkış noktasından birim zamandaki kütle geçiş miktarı ve ya kütle debisi
$\dot{m}_g$	Giriş noktasından birim zamandaki kütle geçiş miktarı ve ya kütle debisi
$\dot{m}_{sıcak}$	Isı değiştiricisindeki sıcak suyun debisi
$\dot{m}_{soğuk}$	Isı değiştiricisindeki soğuk suyun debisi
$\dot{m}_6$	6 noktasındaki kütle debisi
$n$	yıl süresi
$N_{AW}$	Yıllık eşdeğer net kar
$N_{FW}$	Gelecek değer net karı
$N_{PW}$	Net karların şimdiki değeri
$P_2$	2 noktasındaki basınç değeri
$P$	Paranın bugünkü değeri
$pe$	Potansiyel enerji miktarı
$\dot{Q}$	Birim zamandaki ısı geçişi
$\dot{Q}_{çevre}$	Birim zamanda çevreye olan ısı geçişi
$Q_g$	Makineye ya da sisteme giren ısı ve ya sağlanan ısı
$Q_k$	Birim zamanda kontrol hacme giren ısı miktarı

$q$	Birim kütle başına ısı miktarı
$q$	Santralin özgül ısı sarfiyatını
$q_g$	Birim kütle başına Makineye ya da sisteme giren ısı ve ya sağlanan ısı, özgül ısı
$R$	Gaz sabiti
$r$	İskonto oranı
$r_g$	Reel geri ödeme oranı
$r_p$	Basınç oranı
$S_n$	Paranın n yıl sonraki değeri
$S_{\text{üretim, çevrim}}$	Çevrimdeki toplam entropi üretimi
$S_{\text{üretim}}$	Toplam entropi üretimi
$\dot{S}_{\text{üretim, KH}}$	Kontrol hacimdeki birim zamanda üretilen toplam entropi
$S_1$	1 noktasındaki entropi
$S_2$	2 noktasındaki entropi
$S_{\text{ç}}$	Çıkıştaki entropi
$S_g$	Girişteki entropi
$s_1$	1 noktasındaki özgül entropi
$s_2$	2 noktasındaki özgül entropi
$T$	Sıcaklık miktarı
$T_{\text{çevre}}$	Çevre sıcaklığı
$T_k$	Kontrol hacimdeki sıcaklık
$T(t)$	Herhangi bir t yılında kullandırılan kredinin inşaat süresi sonunda faizi ile birlikte ödenmesi gereken borçtur
$T_0$	Çevrenin sıcaklığı
$T_3$	3 noktasındaki sıcaklık değeri
$t$	Zaman göstergesi
$V$	hız
$V_n$	Sistemin normalindeki hız
$v_1$	1 noktasındaki özgül hacim
$W$	Gerçek iş
$\dot{W}$	Birim zamandaki iş geçişi veya güç
$W_{\text{çevre}}$	Çevre işi
$W_{\text{net}}$	Yapılan net iş
$W_{\text{tr}}$	Yararlı işin maksimum olduğu durum
$\dot{W}_{\text{tr}}$	Birim zamanda maksimum yararlı iş
$W_y$	Yararlı iş
$\dot{W}_y$	Birim zamanda yararlı iş
$w$	Birim kütle başına iş miktarı
$w$	Gerçek türbin ya da kompresör işi
$w_{\text{net}}$	Birim kütle başına yapılan net iş
$w_{p,g}$	Pompanın yaptığı iş miktarı
$w_{pI,g}$	1 nolu pompanın yaptığı iş miktarı
$w_{pII,g}$	1 nolu pompanın yaptığı iş miktarı
$w_s$	İzentropik türbin ve ya kompresör işi
$w_{\text{tr}}$	Birim kütlede maksimum yararlı iş
$w_y$	Birim kütlede yararlı iş

$Y(t)$	t yıla ait eskalasyonsuz harcama
$Y_e(t)$	t yıla ait eskalasyonlu harcama
$y$	Kütle oranı
$y(t)$	Yıllık harcama yüzdesi
$z$	yükseklik
$z_ç$	Çıkış noktasında akışkanın yüksekliği
$z_g$	Giriş noktasında akışkanın yüksekliği
$\Delta h$	Özgül entalpilerin farkı
$\Delta ke$	2 nokta arasındaki kinetik enerjilerin farkı
$\Delta pe$	2 nokta arasındaki potansiyel enerjilerin farkı
$\Delta S$	Entropilerin farkı
$\Delta S_{çevre}$	Çevredeki entropi değişimi farkı
$\Delta S_{sistem}$	Sistemin içindeki entropi değişimi farkı
$\Delta s$	Entropi farkı
$\eta_{II,ID}$	Isı değiştiricisindeki 2. Kanun verimi
$\eta_{II,komp}$	Kompresördeki 2. Kanun verimi
$\eta_{II,türbin}$	Türbindeki 2. Kanun verimi
$\eta_{II}$	2. Kanun verimi
$\eta_K$	Kompresör izentropik verimi
$\eta_T$	Santralin termik verimi
$\eta_T$	Türbin izentropik verimi
$\eta_{th,Brayton}$	Brayton çevriminin ısı verimi
$\eta_{th,tr}$	Elde edilebilecek maksimum ısı verim
$\eta_{th}$	Isıl verim
$\eta_{th}$	Gerçek ısı verim
$\theta$	Akışkandaki toplam enerji miktarı
$\theta_ç$	Çıkış noktasında Akışkandaki toplam enerji miktarı
$\theta_g$	Giriş noktasında Akışkandaki toplam enerji miktarı
$\rho$	Yoğunluk
$\psi$	Akışın kullanılabilirliği (Ekserjisi)
$\psi_ç$	Akışın çıkış anındaki kullanılabilirliği (Ekserjisi)
$\psi_g$	Akışın giriş anındaki kullanılabilirliği (Ekserjisi)
$\psi_1$	1 noktasındaki akışkanın kullanılabilirliği

## KISALTMALAR

---

EİE	Elektrik İşleri Enstitüsü
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
AB	Avrupa Birliği
BSI	Besleme Suyu Isıtıcısı
CT	Cycle_Tempo
KIG	Kombine Isı ve Güç
Tr	Tersinir
KH	Kontrol Hacimi
Ort	Ortalama
COP	Performans Katsayısı
Kon	Kondenser
B.I.	Bölge Isıtma
BIS	Bölgesel Isıtma Sistemi
Elek	Elektrik
GT	Gaz Türbini
Komp	Kompresör
Yanma o	Yanma Odası
Oks	Oksijen Gazı
HE	Isı Değiştirici
G	Gaz
B	Buhar
BT	Buhar Türbini
EPA	Environmental Protection Agency

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Türkiye'nin yıllara göre kurulu gücü [GW].....2
Şekil 2.1	Gaz türbini modeli.....7
Şekil 2.2	Gaz türbini için T-s ve P-v diyagramları .....7
Şekil 2.3	Rankine çevriminde açık BSI çevrimi .....9
Şekil 2.4	Açık BSI çevriminin T-s diyagramı .....9
Şekil 2.5	Kapalı BSI çevrimi şematik gösterimi .....11
Şekil 2.6	Kapalı BSI çevrimi T- s diyagramı .....11
Şekil 2.7	Kojenerasyon ile konvansiyonel santrallerin verim karşılaştırılması .....13
Şekil 2.8	Rankine çevrimli kojenerasyon santralının şematik gösterimi .....13
Şekil 2.9	Kombine çevrim santralının şematik gösterimi .....14
Şekil 2.10	Kombine çevrimin T-s diyagramı .....15
Şekil 3.1	CT programı genel görünümü .....17
Şekil 3.2	Kazan sembolü ve veri giriş kutusu (CT user manuel).....18
Şekil 3.3	Ara kızdırıcı sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel) .....20
Şekil 3.4	Türbin sembolü ve veri giriş kutusu (CT user manuel).....21
Şekil 3.5	Türbin çeşitleri için kodlama tablosu (CT user manuel) .....22
Şekil 3.6	Kodlama tablosu açıklaması (CT user manuel) .....22
Şekil 3.7	Kondenserin sembolü ve veri giriş kutusu.....23
Şekil 3.8	Besleme suyu ısıtıcısı sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel) .....26
Şekil 3.9	Besleme suyu ısıtıcısında sıcaklık hesaplamasının T-Q diyagramında gösterimi (CT user manuel) .....27
Şekil 3.10	Isı Değiştirici sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel) .....28
Şekil 3.11	Pompa sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel).....30
Şekil 3.12	Program içinde pompa hesaplamalarında kullanılan verim-güç diyagramı.31
Şekil 3.13	Kuyu sembol ve veri giriş kutusu .....31
Şekil 3.14	Baca sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel) .....33
Şekil 3.15	Yanma odası sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel) .....34
Şekil 3.16	Vana sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel).....36
Şekil 3.17	Dom sembolü ve veri giriş kutusu (CT user manuel) .....36
Şekil 3.18	Kompresör sembolü ve veri giriş kutusu (CT user manuel) .....37
Şekil 3.19	Kompresör verim- güç diyagramı (CT user manuel) .....37
Şekil 3.20	Gaz türbini sembol ve seçim kutusu .....38
Şekil 3.21	Jeneratör sembol ve veri giriş kutusu .....39
Şekil 3.22	Boru sembolü ve veri giriş kutusu.....39
Şekil 3.23	Şaft sembol ve veri giriş kutusu .....40

Şekil 4.1	Konvensiyonel ve Kojenerasyon verim karşılaştırması .....	43
Şekil 4.2	Emisyon miktarı karşılaştırması, EPA .....	44
Şekil 6.1	Paranın faiz ile n yılsonunda kazandığı değer .....	58
Şekil 6.2	Düzenli ve periyodik ödemeler serisinin gelecek değerinin şematik gösterimi.....	60
Şekil 6.3	Düzenli ve periyodik ödemeler serisinin şimdiki değerinin şematik gösterimi .....	61
Şekil 6.4	Artan ödemeler serisinin şimdiki değerinin şematik olarak gösterimi .....	62
Şekil 6.5	Geometrik artan ödemeler serisinin şimdiki değerinin şematik olarak gösterimi.....	63
Şekil 7.1	COP hesaplama için şematik gösterim .....	74
Şekil 7.2	Ara Buhar almalı basit Rankine çevriminin CT programında görünümü.....	74
Şekil 7.3	Isı kazancı ve elektrik kaybının basınca göre grafikleri .....	76
Şekil 7.4	COP nin buhar alma basıncına göre grafiği .....	76
Şekil 7.5	Ara buhar almalı basit Rankine çevriminde COP (kütle) .....	77
Şekil 7.6	Debiye göre elektrik kaybı ve ısı kazancı .....	78
Şekil 7.7	Debiye göre COP .....	78
Şekil 7.8	Kombine çevrim santrali.....	79
Şekil 7.9	Kombine çevrim santrali hesaplamasında çıkan sonuçlar .....	82
Şekil 7.10	Kombine çevrim santralinde verim ve ekserji sonuçları .....	82
Şekil 7.11	Bölgesel ısıtma için kurulan kojenerasyonun şeması .....	83
Şekil 7.12	Bölgesel ısıtma için kurulan kojenerasyonun verim ve ekserji sonuçları.....	84
Şekil 7.13	Bölgesel ısıtma için bulunan bütün değerler .....	85
Şekil 7.14	Basit kojenerasyon sabit yıllık ödeme grafiği .....	88
Şekil 7.15	Bölge ısıtmalı kojenerasyon sabit yıllık ödeme grafiği .....	91

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 1.1	Bazı ülkelerde elektrik enerjisi üretimi, TEİAŞ .....1
Çizelge 7.1	Sisteme giriş değerleri çizelge halinde .....75
Çizelge 7.2	Ara buhar almalı basit çevrim de sonuç ve COP hesaplamaları.....75
Çizelge 7.3	Kütleli debiye göre ara buhar almalı Rankine çevriminde hesaplamalar ve COP .....78
Çizelge 7.4	Konut ve organize sanayi bölgesi aboneleri doğalgaz bedelleri .....85
Çizelge 7.5	BOTAŞ ile doğalgaz satış sözleşmesi imzalamış serbest uygulanan doğalgaz satış fiyat tarifesi .....86
Çizelge 7.6	Basit kojenerasyon sabit yıllık sermaye maliyeti .....87
Çizelge 7.7	Bölgesel ısıtmalı kojenerasyon sabit yıllık sermaye maliyeti .....90

## BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNE ENERJİ SAĞLAYAN TERMİK SANTRALLERİN ANALİZİ

Volkan TÜRKMEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Dünyanın artan enerji ihtiyacının yanında önümüzdeki süre içerisinde fosil yakıtların da azalması ve hatta tükenme noktasına gelmesi gibi nedenlerden dolayı insanlık yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Fakat Güneş enerjisi gibi bir potansiyelin şu an ki teknoloji ile değerlendirilmesinde istenen seviyeye gelememesi ve jeotermal, hidrolik enerji, rüzgar enerjisi ve dalga enerjisinin kısıtlı olması nedeni ile insanlar fosil yakıtlı santrallerden daha fazla nasıl enerji elde edebileceğini araştırıp, buna göre santrallerden atılan enerjiyi geri kullanma yollarını geliştirmişlerdir. Bu yollardan biri de kojenerasyon sistemleri ile bölgesel ısıtma sağlayarak sistemlerin verimini arttırmaktır. Bu tez çalışmasında bölgesel ısıtmanın farklı bir çeşidi ara buhar alma yöntemi Cycle – Tempo programı ile incelenmiştir.

Öncelikle kojenerasyon çevrimlerinin incelenmesi için gaz ve buhar çevrimleri ayrı ayrı ve beraberce incelenmiş şematik gösterimleri ile T-s diyagramları gösterilerek sistemlerdeki çevrimler kısaca özetlenmiştir. Bunun yanında enerji korunumu denklemleri belirtilmiştir.

3. Bölümde ise Cycle – Tempo programı incelenmiştir. Bu incelemede program içinde kullanılan makinelerin sembolleri ve değerlerin girileceği veri kutuları şematik olarak gösterilerek, programa verilerin nasıl girilmesi gerektiği anlatılmıştır. Bunun yanında programın işleyişi ve hesaplamaları ile kullandığı bazı diyagramlar belirtilmiştir.

Sonraki bölümde santral kaynaklı bölgesel ısıtma (Kojenerasyon) sisteminin tanımı ele alınmıştır. Bu sistemin çeşitler ile nerelerde kullanıldıkları anlatılmıştır. Bu sistemlerin

yakıtın enerjisini daha fazla faydalı enerjiye dönüştüren sistemler olmaları yönüyle konvensiyonel sistemlerle değişik yönlerden karşılaştırmaları yapılmış olup bu sistemlerin ne kadar faydalı sistem olduğu irdelendi.

5. Bölümde program içinde kullanılan makinelerin termodinamik analizlerinin yapılabilmesi için termodinamiğin 1. Kanunu, 2. Kanunu ve entropi denklemleri anlatılarak sistemler incelenmiştir. Böylelikle sistemlerin verimleri, verim karşılaştırmaları yapılabilmekte ve aynı zamanda yararlı iş öğrenilebilmektedir. Bir sistemin yararlı iş ile maksimum yararlı iş arasındaki iş te bulunabilmektedir.

Sonraki bölümde ise sistemlerin verim yönünden karşılaştırılmalarının yanı sıra sistemlerin maliyetlerini hesaplayarak sistemlerin parasal yönden de karşılaştırmaları yapılmaktadır. Maliyet hesaplamaları ile birim üretim başına sermaye maliyeti, bakım-onarım maliyetleri ve yakıt maliyetleri gibi toplam maliyeti oluşturan maliyetler hesaplanır ve sistemlerin maliyet yönünden ne karlı olup olmadığı karşılaştırması yapılır ve en uygun sistem buna göre seçilir.

7. Bölümde ise teze esas konu teşkil eden hesaplama olan bölge ısıtma sisteminin COP 'si (performans katsayısı) açıklanmıştır. Burada sistemden buhar çekme ve bu buharı bölgesel ısıtmada kullanma ile elde edilecek ısı enerjisi, buhar türbininden çekilen buhar ile azalan elektrik enerjisine bölünerek COP hesaplaması gerçekleştirilmektedir. Bu sayede sistemde nereden buhar çekilmesi daha uygun olduğu araştırılmıştır.

Son bölümde ise 2 ayrı sistem incelenmiştir. COP' ye göre buhar almada buhar alma basıncı hesaplanmış ve daha sonra bu iki sistem maliyet yönünden karşılaştırmaya tabi tutulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bölgesel ısıtma, maliyet analizi, COP, kombine ısı ve güç santralleri

**ANALYSIS OF THERMAL POWER PLANTS USED FOR DISTRICT HEATING**

Volkan TÜRKMEN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

In addition to increasing energy demand of world, people have a tendency toward to efficient systems because amount of fossil fuels are decreasing in addition to this they vanish in near future. However, technology of solar energy, wind power, sea wave power and geothermal energy is not sufficient for production of power and they are not have enough potential power except sun, people have started to search the way getting high efficiency from thermal power plants, so they have improved this power plants by gaining rejected heat to the surrounding. One of the ways of gaining energy is cogeneration used for district heating. So in theses, Cycle – Tempo is used for examining district heating by the rejected steam.

Firstly, gas and steam power cycles are examined for understanding of cogeneration. In addition, plants drawings, T-s diagrams and energy balance equations are explained shortly.

Secondly, in 3<sup>rd</sup> part Cycle- Tempo Program is explained. Symbols of machines and data boxes are showed and how we can enter the data into boxes are explained. Calculation rules of program and some diagrams of program are showed.

Thirdly, in another chapter, Cogeneration types and where they are used are explained. Conventional systems compared with these systems in terms of efficiency and it is understood these systems are beneficial.

In the 5<sup>th</sup> chapter, thermodynamic analyses are examined. With these analyses one can reach the result of efficiency and find exergy of the system.

In another chapter, in addition to efficiency comparison of systems, economical comparison is introduced. So, one can analyze which system economically preferable. Thus, one can learn unit cost of the generation of power.

In 7<sup>th</sup> chapter, COP ( Coefficient of performance) is explained. Here district heating area is heated by the rejection of steam from steam turbine. COP is explained as heat energy gain over electrical energy loss by rejected steam. With COP, one can reach which pressure steam should be taken for district heating.

In the last chapter, application of COP, economical analyzes and efficiency to the system to the system is examined. So determination of which system can be chosen is made by these analyses.

**Key words:** District heating, cost analyse, COP, combined heat and power plants

## BÖLÜM 1

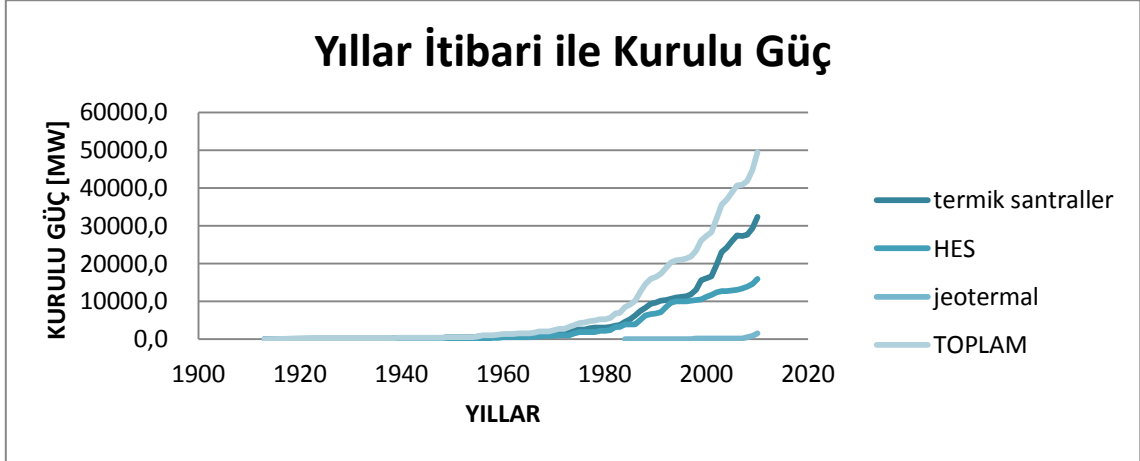
### GİRİŞ

Elektrik enerjisi günümüzün dünyasında insanlığın vazgeçilmezlerindedir. Elektronik eşyalarda, ısıtmada, aydınlatmada ve daha birçok alanda gereksinim duyulmaktadır. Dünya teknolojisi geliştikçe enerji talebi artmakta ve bunun en verimli şekilde karşılanabilmesinin yolları araştırılmaktadır. Ülkelerin gelişmişlikleri kullandıkları elektrik enerjisi ile ilişkilendirilmektedir. Çünkü enerji tüketiminin büyük çoğunluğu sanayi tarafından kullanılmaktadır. Bir ülkenin sanayi potansiyeli de ihtiyaç duyulan enerjiyi göstermektedir. Aşağıdaki Çizelge 1.1'e bakıldığında bazı ülkelerin 2009 yılı itibari ile kurulu güçleri görülmektedir.

Çizelge 1.1 Bazı ülkelerde elektrik enerjisi üretimi, TEİAŞ

BAZI ÜLKELERDE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ										
TWh										
	KÖM ÜR	SIVI	GAZ	YENİLENEBİLİR	TERMİK	NÜKLEER	HİDROLİK	JEOTERMAL	GÜNEŞ+RÜZGAR	TOPLAM
				+ATIK	TOPLAM		TOPLAM		+DALGA	
ÜLKELER	COAL	LIQUID	GAS	RENEWABLE	THERMAL	NUCLEAR	HYDRO	GEOTHERMAL	SOLAR+WIND	TOTAL
				+WASTES	TOTAL		TOTAL		+ WAVE	
ABD	1892,	50,45	949	72,29	2965,18	830,21	298,41	17,05	77,38	4188,21
İNGİLTERE	106,0	4,37	165	12,43	288,32	69,10	8,95		9,32	375,67
İSPANYA	37,18	18,97	107	4,19	167,79	52,76	29,16		44,15	293,85
İSVEÇ	1,60	0,73	1,5	12,20	16,09	52,17	65,98		2,49	136,72
TÜRKİYE	55,67	4,81	96,	0,34	156,92		35,96	0,44	1,50	194,81
HOLLANDA	26,59	1,49	68,	7,62	104,41	4,23	0,10		4,76	113,50
İTALYA	43,42	25,95	147	9,40	226,04		53,44	5,34	7,82	292,64
JAPONYA	279,4	91,62	284	21,43	677,44	279,75	82,13	2,89	5,71	1047,92
KORE	208,8	19,81	70	0,72	299,67	147,77	5,64		1,42	454,50
FRANSA	28,70	6,17	21	6,09	61,97	409,74	61,91		8,56	542,18
ALMANYA	257,1	9,64	78	35,56	381,22	134,93	24,71	0,02	51,58	592,46

Türkiye de geçmişten günümüze sanayisini geliştirmekte ticaret konusunda yeni olmasından kaynaklı büyüme odaklı bir yörünge çizmektedir. Bu yüzden yıllar geçtikçe enerji talebi artmakta, potansiyel enerji ve yeni enerji kaynaklarını kullanmanın yollarını araştırmaktadır. Şekil 1.1’de Türkiye’nin 2010 yılına kadar olan kurulu gücü görülmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye’nin yıllara göre kurulu gücü [GW]

Bu grafikten Türkiye’nin elektrik talebinin logaritmik bir artış gösterdiğini görmekteyiz. Bu da Türkiye’nin sanayisinin hızlı bir biçimde geliştiğini göstermektedir. Genel özellik olarak Türkiye ılıman iklim koşullarına sahip bir ülkedir. Fakat kış ayları özellikle Doğu Anadolu Bölgesi çok soğuk geçmektedir. Bölgede ısıtma için genel olarak kömür kullanılmaktadır. Bu yakıttan oluşan gazlar havayı ciddi oranda kirletmektedir. 2000 yılından bu yana ülkede doğalgaz kullanımı artmıştır. Böylelikle havayı kirleten gaz oranı bir nebze de olsa azalmıştır. Fakat ısıtmada doğalgazın apartman daireleri için kişisel kullanımı hem havanın daha fazla kirlenmesini sağlamakta hem de ciddi bir ekonomik kayba yol açmaktadır. Fakat bu kayıp termik santrallerin bacalarından atılan yüksek sıcaklıktaki gazların ısılarının kullanımı ile önlenbilir. Bunu önlemek için dünyada hem elektrik hem ısı üreten kombine ısı-güç santralleri uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu nedenle ülkemizde de jeotermal kaynaklı olarak kullanılan, ancak santral kaynaklı yeni yeni uygulanmaya başlayan bu sistemi yaygınlaştırmak gerekmektedir.

## 1.1 Literatür Özeti

Foncera J. Ve Schneider (2004) yaptıkları çalışmada bölgesel ısıtma yapan Kopenhag 'daki bir termik santralin %40 tan %100 kadarlık bir yük kapasitesi altında kütle ve enerji denge denklemlerini kullanarak simülasyon analizlerini yapmışlardır.

Savola ve Fogelholm(2006), yaptıkları çalışmada 6 farklı küçük ölçekli ısı ve güç santralinde güç/ısı oranlarının değişimini simülasyon ile inceleyerek güç/ısı oranının değişimi ile ekonomik ilişkiyi incelemişlerdir. Yüksek Güç/Isı oranının ekonomik olarak daha kabul edilebilir olduğu ve CO<sub>2</sub> oranının düşmesine neden olduğu sonucuna varmışlardır.

Haselbacher ve Fruttschi (1997), çalışmalarında kombine çevrim santralinden ısı çekerek etkili bir bölgesel ısıtmanın sonuçlarını incelemiş ve bu santrallerin yüksek verime sahip oldukları ve daha az yakıt tükettikleri sonucuna varmışlardır.

Hasan H. Erdem vd.(2009) çalışmalarında yatağan termik santralının bölgesel ısıtma için termodinamik analizlerini yaparak, düşük basınçlı türbinden ya da türbinin düşük basınçlı bölgesinden buhar çekmenin daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Badami ve Mura (2009), geliştirilmiş küçük ölçekli kombine ısı ve güç santralinin kullanılabilirlik analizini yapmış ve aynı zamanda performans kriterlerine göre hassasiyet analizi yapmışlardır.

Rydstrand vd.(2004), makalelerinde buhar enjekte edilmiş gaz türbinli santralin bölgesel ısıtma için verim ve ekonomik analizlerini ele almışlardır.

Mago vd (2009), çeşitli iklim koşullarındaki binalar için kombine ısı ve güç santrallerinin kullanılabilirliği ve aynı zamanda verim, ekonomik analizleri ve çevreye etkilerini incelemişlerdir.

Zhao vd. (2008) doğal gazlı kombine ısı ve güç santrali ile konvensiyonel kojenerasyon sistemlerini karşılaştırmışlar ve kombine santralının yaklaşık olarak % 10 daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Tezin amacı bölgesel ısıtma sistemlerine ısı sağlayan santrallerin termodinamik ve maliyet analizlerini yaparak kurulacak olan santrallerin ısı ve elektrik enerjisi açısından faydalanma oranlarını bulmak ve birim elektrik ile birim ısı maliyetinin kullanıcılar açısından uygun olup olmadığını incelemektir.

## **1.3 Hipotez**

Tezde ortaya atılan hipotez ise performans katsayısı denilen COP'nin yani santralden ısıtma amaçlı çekilen buharın sağladığı ısı enerjisinin, bu buharın çekilmesi ile neden olduğu elektrik enerjisi azalmasına olan oranının yüksek olması maliyet açısından yük getirmemesi ve kullanıcının ihtiyacını daha az maliyet karşılamasıdır.

### GÜÇ ÇEVİRİMLERİ

İnsanlığın başlangıcından günümüze kadar enerjiye hep ihtiyaç duyulmuş olup öncelikle insanlar kendi enerjilerini besinlerden elde ederek yaşamının yollarına bakmışlardır. Üşümleri ile ateş yakarak ısı enerjisinden faydalanmışlardır. Bununla birlikte gelişen dünyada ihtiyaçların çeşitlenmesi ile bireysel ihtiyaçlardan toplumsal ihtiyaçlara geçilmiş, elektrik elde edilmiş insanlar toplu hallerde yaşamaya başlamış ve tek merkezden verimleri düşük sistemlerle elektrik enerjilerini karşılamışlar daha sonra da yüksek fayda oranına sahip sistemlerle ısı ihtiyaçlarını karşılayacaklarını anlayarak yüksek fayda oranlı sistemler elde etmenin yollarını araştırmış ve değişik sistemlerin varlığını keşfetmişlerdir. Bu sistemlerin analizlerini de Termodinamik adı altında sistemleştirmişlerdir. Bu bölümde Prof. Dr. Yunus A. Çengel ve Michael A. Boles' un Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik kitabından faydalanılmıştır ve bu kitapta termodinamiğin önemli alanlarından birinin de güç çevrimleri olduğu anlatılmış ve güç çevrimleri de çevrimde dolaşan akışkanın fazına göre iki ana başlık altında toplanmıştır. Gazın sürekli olarak çevrim içinde gaz halinde dolaşması ile gaz çevrimleri ve buharın hem buhar fazında hem de sıvı fazda çevrimde dolaşması ile buharlı çevrimlerin oluştuğu anlatılmaktadır. Çevrimler aynı zamanda açık ve kapalı olarak sınıflandırılmaktadır. Kapalı çevrimlerde akışkan çevrime başladığı noktaya geri döner yani akışkan çevrim içinde daimi olarak döner. Kapalı çevrime örnek olarak buharlı çevrimlerdeki buhar verilebilir. Açık çevrimlerde ise, akışkan sürekli olarak yenilenmekte ve çevrim sonunda çevrim dışına atılmaktadır. Açık çevrime örnek olarak otomobil motorunun kullandığı yakıtın çevrim sonunda egzozdan is renginde bir gaz olarak atılması verilebilir [1].

## 2.1 Gaz Akışkanlı Güç Çevrimleri

Gaz akışkanlı çevrimler iş akışkanının çevrim boyunca gaz olduğu pistonlu motorlar ya da gaz türbinleri gibi çevrimlerdir. Bu tezde gaz türbinleri ile ilgili çevrimlere odaklanacağımızdan pistonlu motorlarla ilgili çevrimler incelenmemiştir. Genellikle çevrimlerin hesaplamalarında sistemler ideal kabul edilip hesaplamalar basitleştirilerek sistemler hakkında genel bilgiler elde edilmiştir. Carnot çevrimi de tam hal değişimlerinin ideal olduğu en yüksek verime sahip çevrimdir ve bu nedenle ideal çevrimler için verim yönünden iki ısı kaynağı arasındaki üst limiti vermektedir. Çevrimlerde iş dönüşümlerini sağlamak için ısı makineleri kullanılır. Isı makineleri genellikle ısı enerjisini işe dönüştürmek için tasarlanmışlardır. Bu makinelerin performansları, ısıl verim ( $\eta_{th}$ ) ile değerlendirilir. Isıl verim, makineden elde edilen net işin makineye giren veya sağlanan ısıya oranıdır[1]:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_g} \quad veya \quad \eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_g} \quad (2.1)$$

Güç çevrimlerinin idealleştirmek için yapılan kabuller[1]:

- 1- Çevrimde sürtünme yoktur. Böylelikle basınç düşüşleri göz ardı edilir.
- 2- Sıkışmaların ve genişlemelerin olduğu hal değişimleri sanki-dengeli bir biçimde gerçekleşir.
- 3- Sistemdeki boruların ve ekipmanların tamamen yalıtılmış olduğu kabul edilir ve bu sayede ısı kayıpları göz ardı edilir.

Güç çevrimlerinin çözümünde akışkanın potansiyel ve kinetik enerji değişimleri genellikle ihmal edilir.

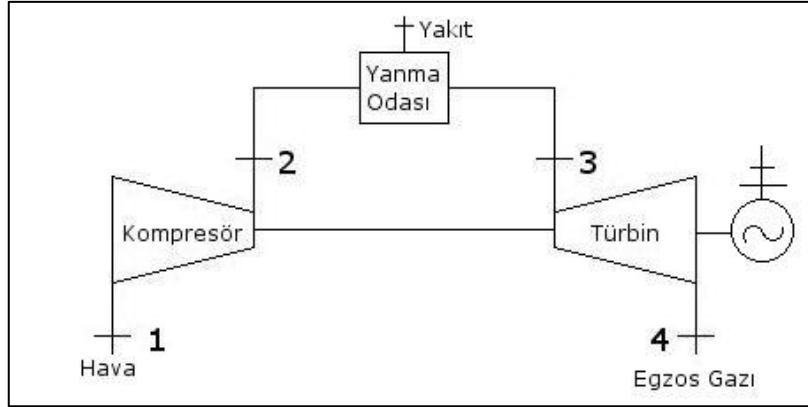
Güç çevrimlerinde amaçlardan biri de sistemin ısıl verimini artırmaktır. Bu amaçla yapılan analizlerde termodinamik diyagramları kullanılır ve bu diyagramlarla sistemin ürettiği net iş görülebilir. Analizler sonucunda yapılabilecek değişikliklerin sistemin verimi ve gücünü artırması değerlendirilebilir[1].

### 2.1.1 İdeal Basit Brayton Çevrimi

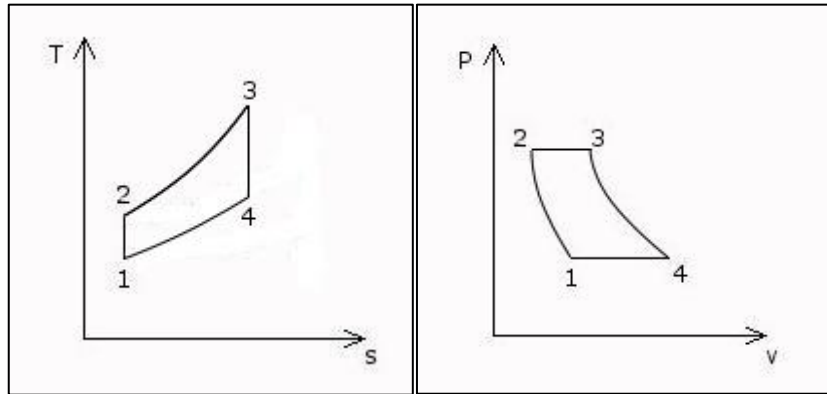
Brayton çevrimi ismini mucidi olan George Brayton tarafından almıştır. Aynı zamanda Joule çevrimi olarak da bilinir. Çevrim Amerikalı makine mühendisi olan Brayton' un

1872 yılında patentini aldığı iki zamanlı kerosen yakan pistonlu motorunda kullanılmak üzere ortaya çıkmıştır [2]. Brayton çevrimi günümüzde en çok gaz türbinli sistemlerde kullanılır. Gaz türbinlerinde genel olarak üç ekipman bulunur. Bunlar:

- 1- Kompresör
- 2- Yanma Odası
- 3- Gaz Türbini



Şekil 2.1 Gaz türbini modeli



Şekil 2.2 Gaz türbini için T-s ve P-v diyagramları

İdeal çevrimde hava öncelikle kompresörde izentropik olarak sıkıştırılır. Kompresörde izentropik olarak sıkıştırılan havanın basıncı ve sıcaklığı artar (Şekil 2.1). Kompresörden yanma odasına gelen hava yanma odasında sabit basınçta yakıt ile reaksiyona girerek yakılır (Şekil2.1). Yanma odasından türbine gelen gazlar izentropik olarak genişleyerek egzozdan dışarı atılır (Şekil 2.2). Türbinde genişleyen gaz türbin kanatçıklarına çarparak türbini döndürür ve böylelikle ısı enerjisinden mekanik enerji elde edilmiş olur (Şekil2.1).

İdeal Brayton çevriminde birim kütle için enerji korunumu denklemi şu şekilde yazılır:

$$q - w = h_c - h_g [kJ/kg] \quad (2.2)$$

Oda sıcaklığında sabit özgül ısılar için ısı girişi ve çıkışı:

$$q_g = q_{23} = h_3 - h_2 = C_p(T_3 - T_2) [kJ/kg] \quad (2.3)$$

$$q_c = -q_{41} = h_4 - h_1 = C_p(T_4 - T_1)[kJ/kg] \quad (2.4)$$

Bu denklemlerden, ideal Brayton çevriminin verimi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\eta_{th,Brayton} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_c}{q_g} = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)} \quad (2.5)$$

1-2 ve 3-4 hal değişimleri izentropik ve  $P_2=P_3$ ,  $P_4=P_1$  olduğundan,

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{(k-1)/k} = \frac{T_3}{T_4} \quad (2.6)$$

Denklem (2.5) ve (2.6)'yı bir arada yazarak ve gerekli sadeleştirmeleri yaparak ısı verimi aşağıdaki gibi yazabiliriz,

$$\eta_{th,Brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}} \quad (2.7)$$

$r_p$  basınç oranıdır.

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.8)$$

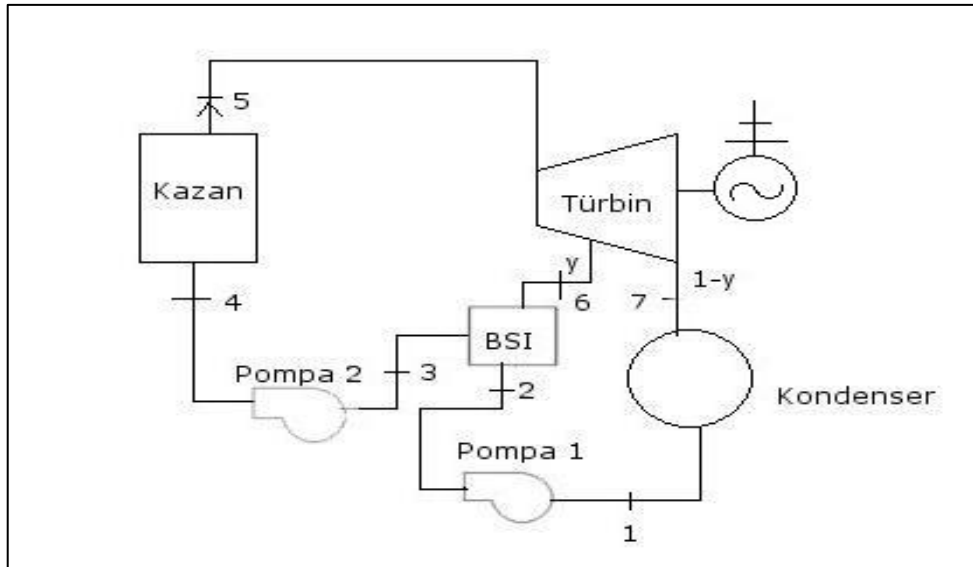
Soğuk hava standartları altında ideal Brayton çevriminin ısı verimi, gaz türbinin basınç oranına ve akışkanın özgül ısılarının oranına bağlı olduğu anlaşılmaktadır [1].

Çevrimdeki en yüksek sıcaklık, yanma işleminin sonundaki sıcaklık olup türbinin kanat malzemelerinin dayanabileceği en yüksek sıcaklıkla sınırlıdır. Bu sayede çevrimin basınç oranı da sınırlanmaktadır. Gaz türbinlerinin tasarımında kullanılan basınç oranları genellikle 11 ile 16 arasındadır [1].

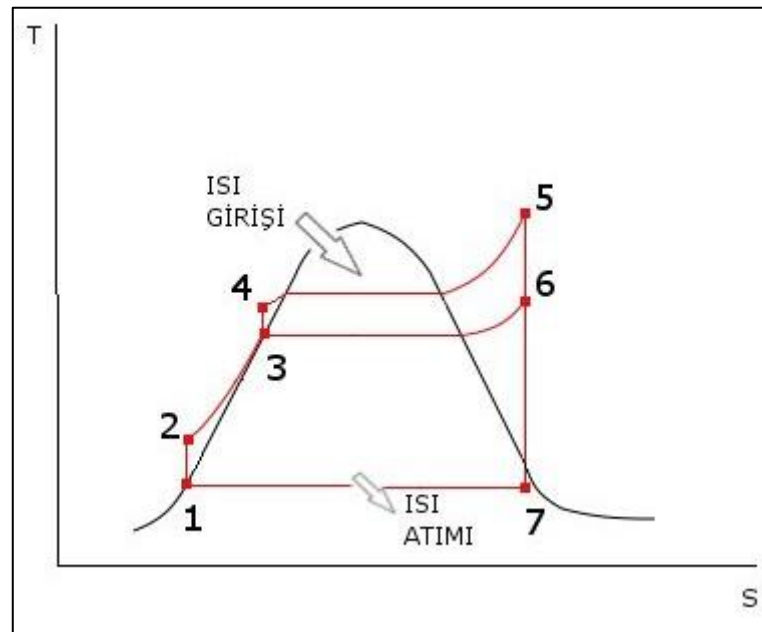
## 2.2 Buhar Akışkanlı Güç Çevrimleri

### 2.2.1 İdeal Ara Buhar Almalı Rankine Çevrimi

Ara buhar alma türbin içindeki herhangi ara noktadan buhar çekilerek kazana gelen beslemeye suyunun açık ya da kapalı besleme suyu ısıtıcılarında doğrudan ya da dolaylı olarak sıcaklığının artırılmasıdır (Şekil 2.3). Bu sayede hem termik verim artmakta hem de türbin çıkışındaki buharın kuruluk derecesi artmaktadır.



Şekil 2.3 Rankine çevriminde açık BSI çevrimi



Şekil 2.4 Açık BSI çevriminin T-s diyagramı

### 2.2.2 Açık Besleme Suyu Isıtıcıları

Şekil 2.3' ten anlaşılacağı üzere açık besleme suyu ısıtıcısında türbinden gelen buhar kazan besleme suyu ile doğrudan temas ederek ısı alışverişinde bulunmaktadır. Bu sayede buhar yoğunlaşırken ısını suya doğrudan temas ederek vermekte ve suyun sıcaklığı artmaktadır. Sonrasında pompa ile kazana basılmaktadır. Kazana gönderilen besleme suyunun ortalama sıcaklığı basit çevrime göre daha fazla olacaktır. Böylelikle kazanda yakılacak yakıt miktarı da daha az olmaktadır ve sistemin verimi de artmaktadır. Türbinden daha fazla buhar çekerek daha fazla beslemeye suyu ısıtıcısı kullanabiliriz. Bu sayede kazana girecek besleme suyunun ortalama sıcaklığını daha fazla arttırabiliriz bu sayede de yakıttan daha fazla kar edebiliriz. Fakat açık besleme suyu çevrimlerinde her bir besleme suyu ısıtıcısı için bir de pompa gerekeceğinden maliyet artacak yakıt tasarrufundan elde edilen miktardan daha fazla olacaktır. Tabii ki maliyetin fazla olması istenmeyen bir durumdur. Bu durumda harcamalar ile tasarruf birbirini karşılamalıdır [1].

Açık besleme suyu ısıtıcısının bulunduğu çevrimin ısı ve güç denklemlerini de aşağıdaki gibi yazabiliriz [1]:

$$Q_g = h_5 - h_4 \quad (2.9)$$

$$Q_c = (1 - y)(h_7 - h_1) \quad (2.10)$$

$$W_t = (h_5 - h_6) + (1 - y)(h_6 - h_7) \quad (2.11)$$

$$w_{p,g} = (1 - y)w_{pI,g} + w_{pII,g} \quad (2.12)$$

$$y = \frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_5} \quad (2.13)$$

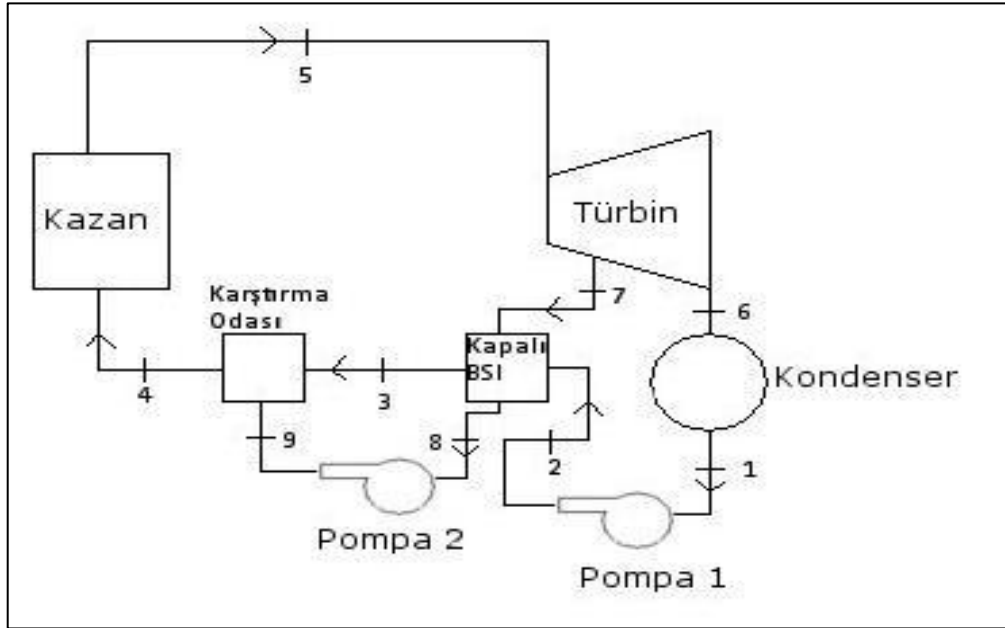
$$w_{pI,g} = v_1(P_2 - P_1) \quad (2.14)$$

$$w_{pII,g} = v_3(P_4 - P_3) \quad (2.15)$$

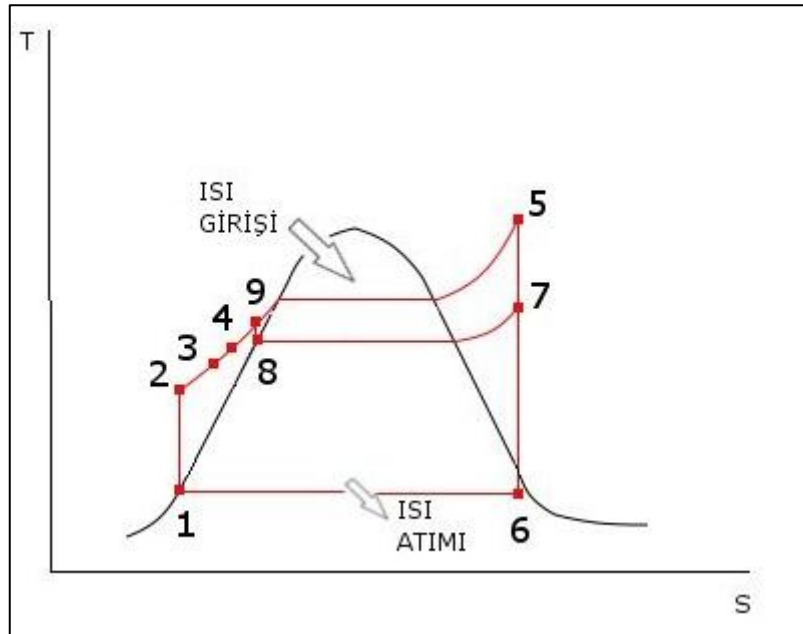
### 2.2.3 Kapalı Besleme Suyu Isıtıcıları

Şekil 2.5' ten görülüşü gibi kapalı besleme suyu ısıtıcılarında türbinden kalacak buhar ile kondenser tarafından pompa ile basılan su arasında olan ısı alışverişi iki akışkan birbirine temas etmeden olmaktadır. Kapalı besleme suyu ısıtıcısında buhar yoğunlaşmakta ve iki akışkan da karıştırma odasında birbirine karışarak buradan kazana

gelmektedir. Gerçek güç santrallerinde besleme suyu ısıtıcıdan, buharın çıkış sıcaklığının altında bir sıcaklıkta çıkar [1].



Şekil 2.5 Kapalı BSI çevrimi şematik gösterimi



Şekil 2.6 Kapalı BSI çevrimi T- s diyagramı

Açık ve kapalı besleme suyu ısıtıcılarının karşılaştırılması aşağıda verilmiştir [1]:

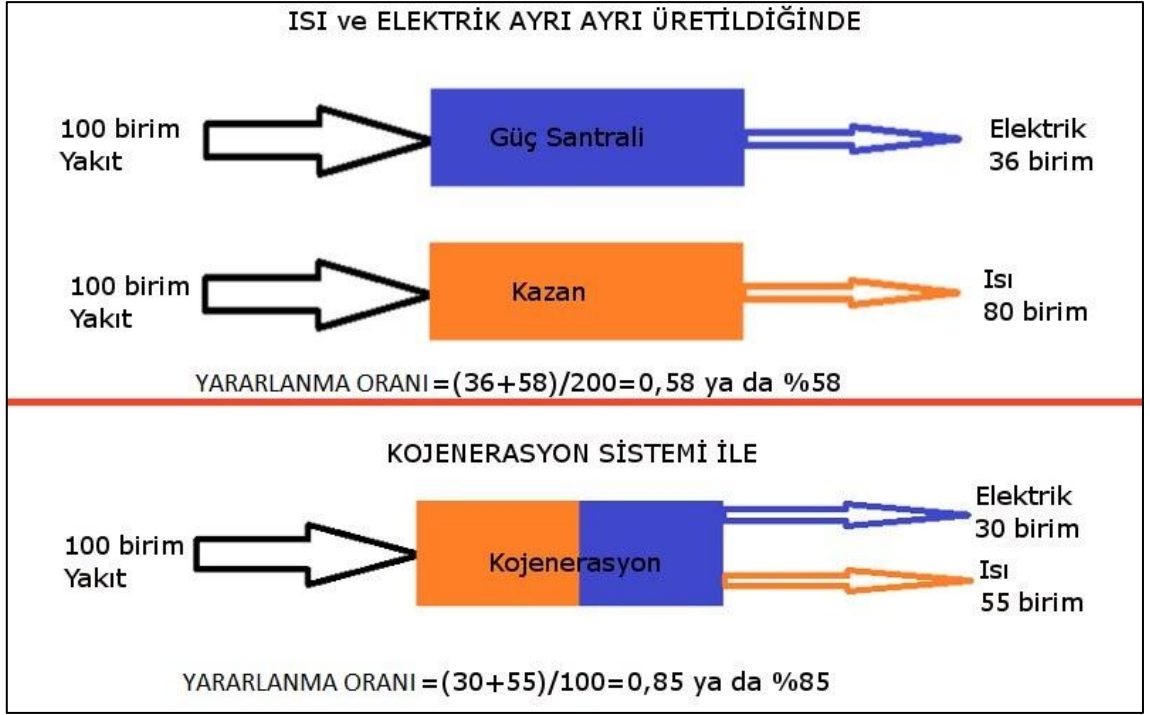
- Açık besleme suyu ısıtıcıları basit ve ucuzdur ve etkin bir ısı geçişi sağlamaktadır.

- Her bir açık besleme suyu ısıtıcısı için bir pompa gereklidir. Bu da maliyeti arttırmaktadır.
- Kapalı besleme suyu ısıtıcısı kompleks bir yapıya sahiptir, bu nedenle daha pahalıdır.
- Kapalı besleme suyu ısıtıcısında ısı geçişi direk temas ile olmadığından açık besleme suyu ısıtıcısına göre ısı geçişi daha az etkindir.
- Kapalı besleme suyu ısıtıcısında direkt temas olmadığından pompaya ihtiyaç duyulmaz ısıtıcı içinde akışkanlar farklı basınçlarda bulunabilirler.

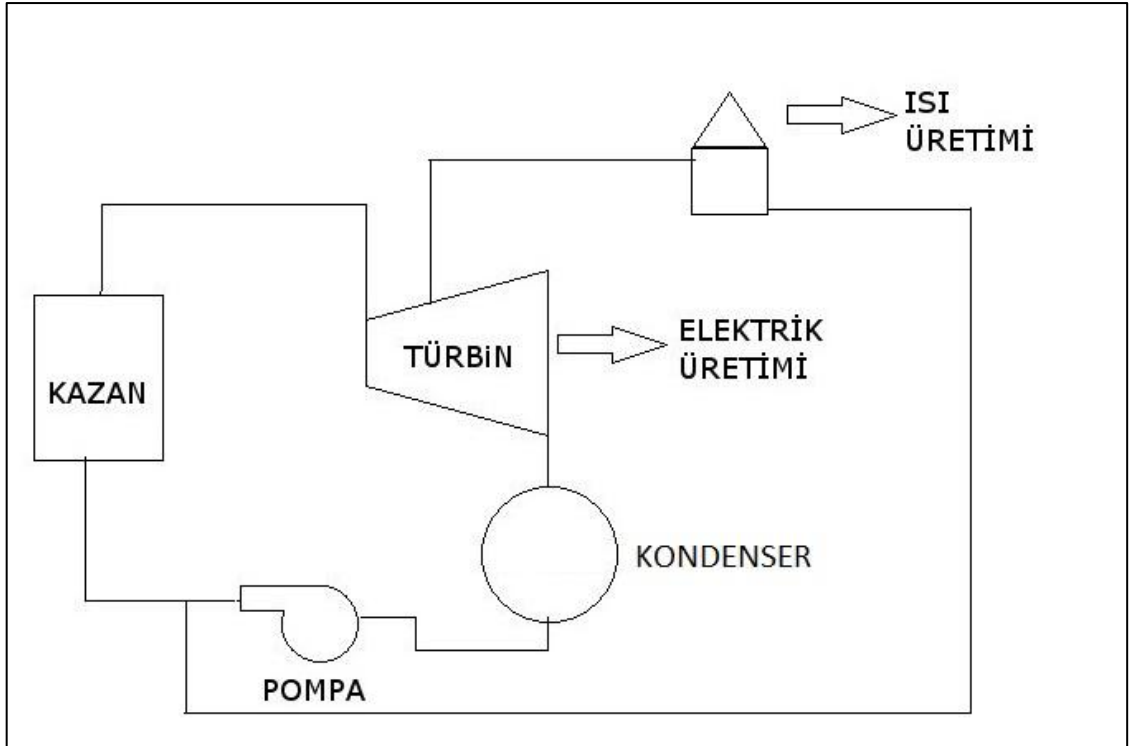
### **2.3 Kojenerasyon**

Şu ana kadar sadece güç üretimi olan sistemler incelendi fakat bu sistemlerde kondenser aracılığıyla büyük miktarlarda ısı çevreye atılmaktadır. Isının kullanılabilceği birçok alanın mevcut olması atılan ısının ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Bu yüzden günümüzde bu ısının kullanılabilceği düşünülerek daha verimli sistemlerin oluşturulması sağlanmıştır [1]. Normalde Şekil 2.7' ye bakıldığında elektrik ve ısı üretimi için ayrı ayrı 100 birim yakıt kullanılırsa elektrikten yaklaşık 36 birim ısıdan da 80 birim elde edilir ve toplam enerjiden faydalanma oranı göz önüne alındığında %58' lik bir faydalanma oranı olacaktır. Fakat bir kojenerasyon için 100 birim yakıt yakıldığında 30 birim elektrik enerjisi 55 birim de ısı enerjisi üretilirken sistemden faydalanma oranı % 85 olacaktır. Böylelikle giren yakıtın enerjisinden iki farklı ürün elde edilerek daha fazla faydalanılacaktır.

Kojenerasyon için sadece buharlı çevrim ya da sadece gaz çevrimleri kullanılabilceği gibi buhar ve gaz çevrimlerinin birlikte kullanıldığı kombine çevrimler de kullanılabilir. Şekil 2.8' de kojenerasyon üretimi için Rankine çevrimini göstermektedir. Kazana bir ısı verilmekte türbinden bir elektrik gücü elde edilirken türbinden çekilen buhar ile de bir ısı enerjisi elde edilmektedir.



Şekil 2.7 Kojenerasyon ile konvansiyonel santrallerin verim karşılaştırılması

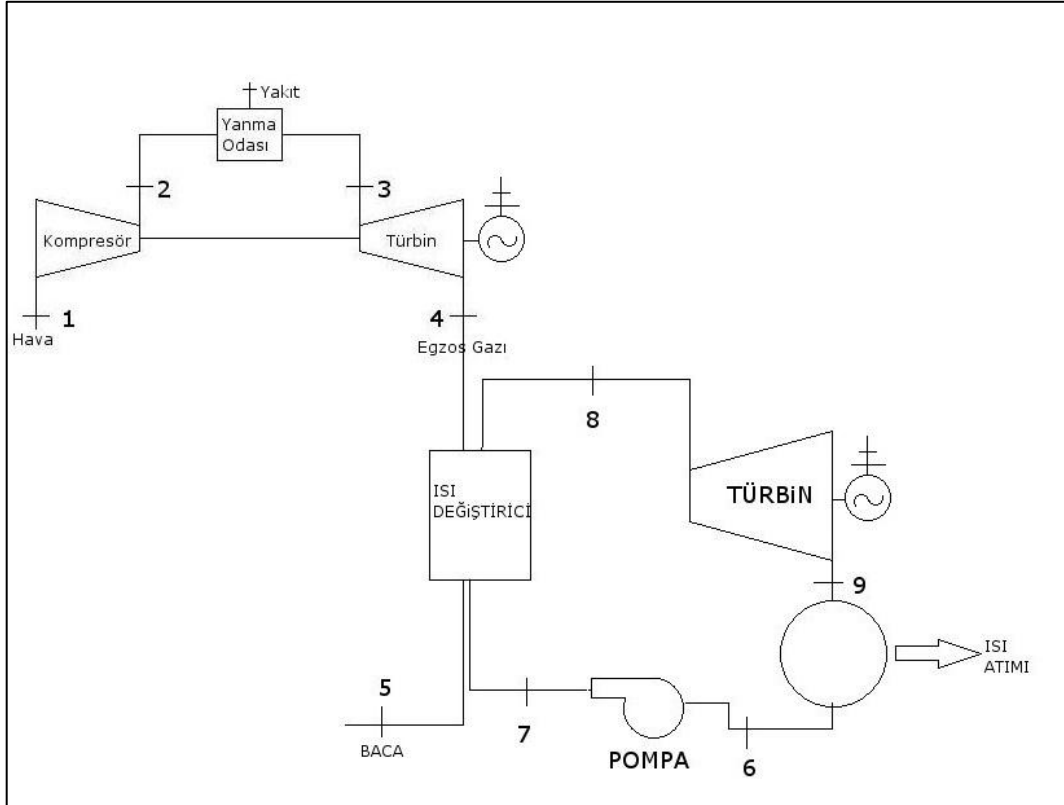


Şekil 2.8 Rankine çevrimli kojenerasyon santralinin şematik gösterimi

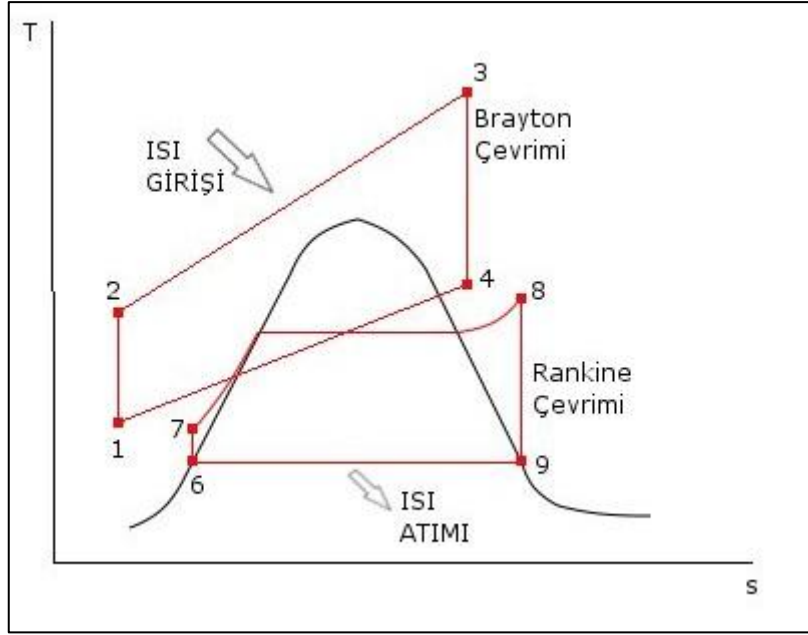
## 2.4 Kombine Çevrim (Birleşik Gaz- Buhar Güç Çevrimi)

Sistemlerden yüksek ısı verim elde edebilmek için geliştirilmiş bir çevrimdir. Brayton ve Rankine çevrimi bir arada kullanılmakta ve bu sayede yüksek bir ısı verim elde edilmektedir.

Gaz türbini çevrimleri buharlı çevrimle göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Buharlı güç çevrimlerinde en yüksek türbin giriş sıcaklığı 620 °C iken, gaz türbinlerinde 1150 °C'in üzerindedir [1]. Gaz türbinlerinin kanatlarında etkin soğutma yapılabildiğinden ve kanatların seramik gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerle kaplanabilmesinden dolayı yüksek sıcaklıklara çıkılabilmektedir [1]. Yine gaz türbinlerinde ısı, çevrime yüksek ortalama sıcaklıkta verilebildiğinden gaz türbini çevrimi daha yüksek bir verime sahip olması gerekmektedir. Fakat gaz türbininden çıkan gazın sıcaklığı ortalama 500 °C olduğundan verim beklendiği gibi yüksek olamamaktadır. Bu nedenden dolayı gaz türbinlerinin verimleri buhar türbinlerine oranla daha düşüktür [1].



Şekil 2.9 Kombine çevrim santralini şematik gösterimi



Şekil 2.10 Kombine çevrimin T-s diyagramı

Şekil 2.9' da bir kombine çevrim santralinin modeli verilmiştir. Bu kombine çevrim santralinde gaz türbininde elektrik enerjisi üretildikten sonra dışarıya atılacak olan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları bir atık ısı kazanı yardımıyla Rankine çevrimindeki suya ısı vererek buhar üretmektedir. Yeterli kızgınlık derecesine gelen buhar daha sonra bir buhar türbininde genişleyerek türbini harekete geçirmekte ve yeniden elektrik enerji üretimi bu türbine bağlı jeneratörlerde gerçekleşmektedir.

## BÖLÜM 3

---

### CYCLE TEMPO

Cycle-Tempo elektrik, ısıtma ve soğutma için termodinamik bir modelleme yapan ve aynı zamanda bu sistemleri optimize eden bir simülasyon programıdır. Bu sistemler birden fazla çevrimden oluşabilmekte ve çevrimlerin içinde kullanılan ekipmanlar borularla birbirine bağlanarak kütle ve enerji akışları için karmaşık bir yapı oluşturmaktadır.

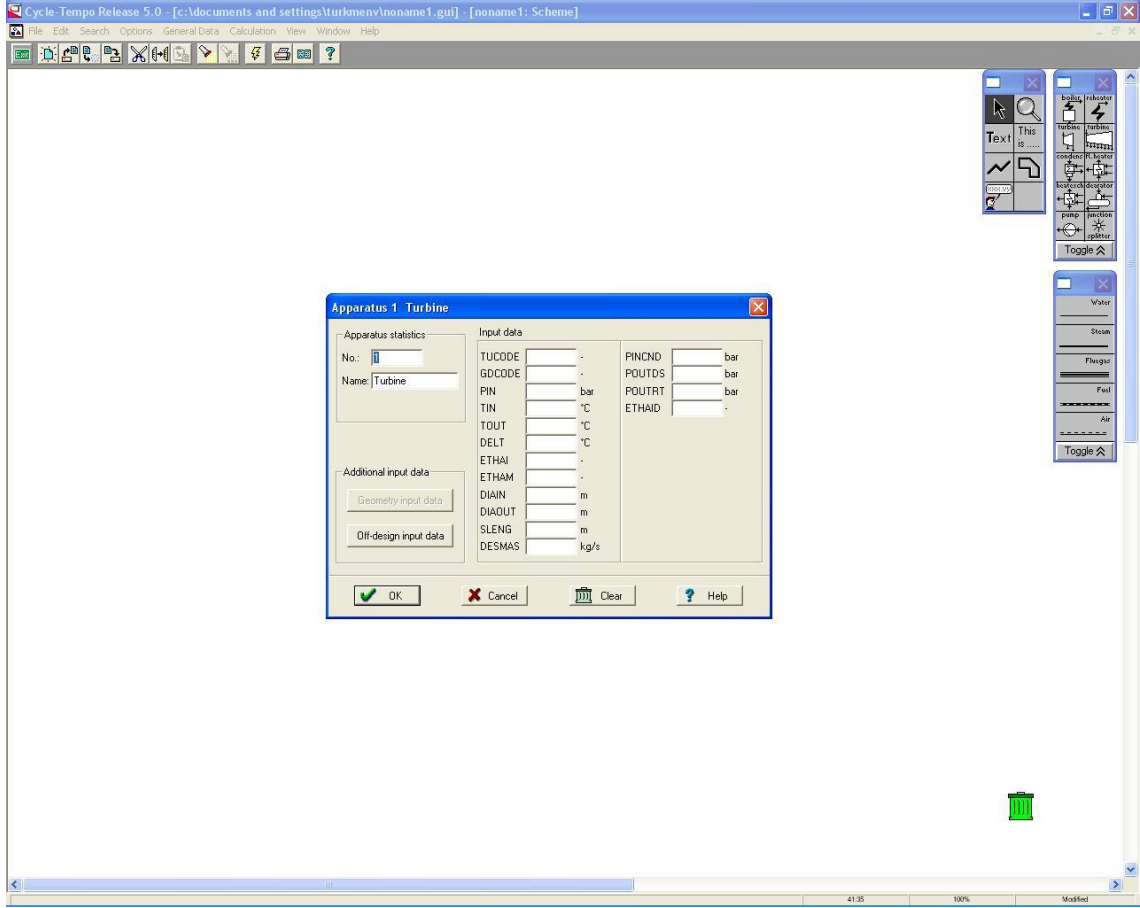
Cycle-tempo'nun ilk amacı sistem içindeki ilgili kütle ve enerjileri hesaplamaktır. Böylelikle kullanıcı istediği şekilde çevrim ve sistem modellemesi yaparak hesaplamalarda bulunabilir.

Cycle-Tempo 'nun kullanıcı ara yüzü sayesinde sistemler kolaylıkla modellenebilmekte. Modellerin üzerine çift tıklayarak gelen veri giriş kutusuna sıcaklık, basınç ve akışkanın bileşim değerleri girilebilir (Şekil 3.1). Gerekli değerler girildikten sonra çalıştır düğmesine basılınca program otomatik olarak gerekli sonuçları hesaplar. Eğer sistemde hesaplama hatası bulunursa program nerelerde hata bulunduğunu söyleyerek kullanıcının hatasının düzeltilmesi sağlanmaktadır. Eğer program için girilen veriler doğru ise program içinde kullandığı ötelemelerle gerekli değerleri hesaplar ve kullanıcıya sunar. Bu bilgiler ışığında kullanıcı enerji değerlerini ve ekserji değerlerini görebilir. Aynı zamanda çevrim işlemi ile ilgili Q, T ve diğer değerlerin diyagramlar, Çizelgeler ve grafikler kolaylıkla oluşturulabilmektedir.

Cycle-Tempo Kılavuzu 6 parçalı dokümandan oluşmaktadır. Bunlar:

- Cycle-Tempo Operation
- Reference Guide

- User Subroutines
- Examples
- Technical Notes



Şekil 3.1 CT programı genel görünümü

Cycle-Tempo Operation CT ile alakalı bütün kullanım detaylarını göstermektedir.

Refence Guide ise Programın içindeki ekipmanların verilerinin nasıl girileceği, ekipmanların nasıl kullanılması gerektiği sonuçların nasıl oluştuğu ve Çizelge çizimlerinin nasıl yapıldığı hakkında bilgi vermektedir.

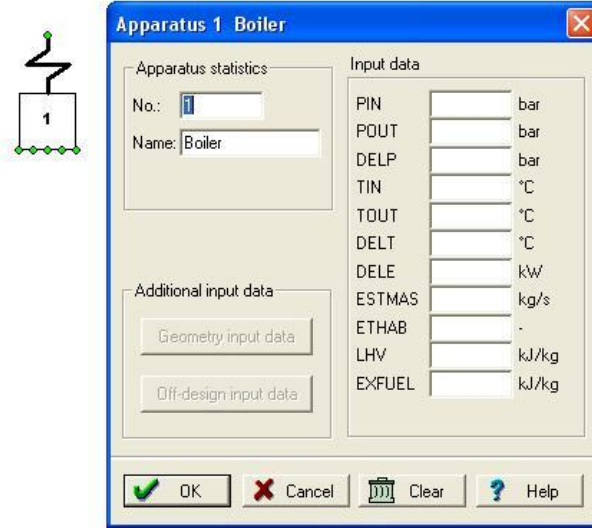
User Subroutines ise programın veri giriş kutusuna eklenemeyen dataların fortran programlama dili ile yazılan alt programların sisteme nasıl adapte edileceğini gösteren bir kılavuzdur.

Examples da Program ile alakalı bazı sistem çevrimlerinin örnekleri bulunmaktadır.

Technical Notes da ekipmanlar ile ilgili teknik hesaplama bilgileri verilmektedir.

### 3.1 Cycle- Tempo'daki Bazı Ekipmanlar Hakkında Genel Bilgiler

#### 3.1.1 Boiler (Kazan)



Şekil 3.2 Kazan sembolü ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

Şekil 3.2' de kazanın sembolü ve veri giriş kutusu görülmektedir. Sembolün altındaki yeşil noktalar kazana giren maksimum boru bağlantılarını göstermektedir. Bu sayede kazana 1 den 5 e kadar boru bağlantısı yapılabilir ve en fazla 1 adet çıkış borusu bağlanabilmektedir. Aynı zamanda kazan ekonomizer, buharlaştırıcı ve kızdırıcı olarak kullanılabilir fakat ara kızdırıcı olarak kullanılamaz çünkü ara kızdırıcı olarak farklı ekipman kullanılmaktadır.

#### Veri Giriş Değerleri

PIN, POUT, DELP, TIN, TOUT ve DELT parametreleri standart parametrelerdir. Burada diğer parametrelerin ne anlama geldiği belirtilecektir.

DELE: Kazandan dışarı olan enerji akışıdır. Varsayılan değeri yoktur. Işıma kayıpları da dâhil edilmelidir. Bu özellik sadece 1 giriş ve 1 çıkış borusunda geçerlidir.

ESTMAS: Tahmini kütle debisidir. DELE' nin belirtildiği durumlarda tahmini kütle debisi de belirtilmelidir. Böylelikle kazan boyunca gerçekçi bir özgül entalpi değişimi elde edilebilir. Varsayılan değeri bilinmemektedir.

ETHAB: Kazanın termal ısı verimi. Verim hesaplamalarında önemlidir. Varsayılan değeri 1 olarak kabul edilmektedir.

LHV: kazanda kullanılan yakıt için alt ısı değeridir. Varsayılan değer bilinmemektedir. Ekserji hesaplamalarında kullanılmaktadır.

EXFUEL: Yakıtın ekserjisidir. Varsayılan değeri yoktur.

Eğer LHV, EXFUEL ve ETHAB' nin hepsi belirtilmişse sisteme olan ekserji girişi ve sistemin ve kazanın ekserji verimi hesaplanabilir.

### **Sistem Matrisine Eklenen Denklemler**

Bu ekipmanın kullanılması ile sistem matrisine 1 adet kütle denklemi eklenmektedir.

### **Hesaplama Kuralları**

$$1. P_{out} = P_{in} - \Delta P$$

$$2. T_{out} = T_{in} - \Delta T$$

$$3. h_{in} = h_{out} - \frac{\Delta E}{\phi_m}$$

Buradaki büyük harfli değişkenler ekipmanın veri girişinden çekilirken, diğer veriler ya ekipmandan ya da bağlantı borularında çekilmektedir.

### **3.1.2 Rehetear (Ara Kızdırıcı)**

Bu ekipman kapalı çevrimlerde kullanılmakta ve yakıt değerleri dikkate alınmamaktadır. Şekil 3.3' den de görüleceği gibi bu ekipmana en fazla 1 giriş borusu ve 1 çıkış borusu bağlanmaktadır.

### **Veri Giriş Değerleri**

Burada bulunan parametrelerin hepsi kazan parametreleri ile aynıdır. Sadece ara kızdırıcı için kullanılabilir. Sadece ara kızdırıcı için kullanılabilir.

### **Sistem matrisindeki denklem sayısı**

Sistem matrisine 1 adet kütle denklemi eklenmektedir.



Şekil 3.3 Ara kızdırıcı sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

### Hesaplama Kuralları

$$1. P_{out} = P_{in} - \Delta P$$

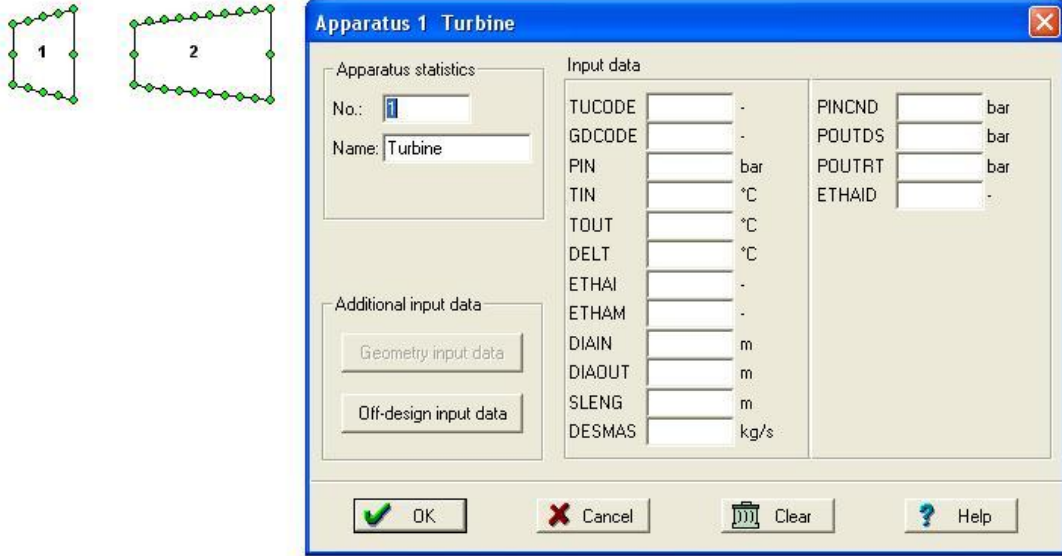
$$2. T_{out} = T_{in} - \Delta T$$

$$3. h_{in} = h_{out} - \frac{\Delta E}{\phi_m}$$

### 3.1.3 Türbin

Bu ekipman farklı türbinlerin hepsi için kullanılabilir. Şekil 3.4' e bakılırsa iki farklı boyutta olduğu görülmektedir. Küçük türbinde sol kenarın alt ve üstündeki noktalar türbine girişi sağ kenardaki üst ve alt noktalar türbinden çıkışı göstermektedir. Üst ve alt kenarlardaki ara noktalar ise türbinden ara buhar çekilebilecek noktalardır. Sağ ve sol kenardaki orta noktalar ise shaft bağlantılarının yapıldığı noktalardır. Türbin için en fazla 1 giriş borusu ve 1 çıkış borusu bağlanabilir. Ara buhar alma boruları da türbin üzerinde alt ve üst kenarlarda bulunan orta nokta sayısı kadardır.

Türbinin genişleme kademesinde ekstra kütle eklenmesi mümkün olmamaktadır, bu yüzden 2 farklı türbin çeşidi modeli oluşturulmaktadır.



Şekil 3.4 Türbin sembolü ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

Genel olarak kullanılan türbin çeşidi genişleme türbinidir ve TUCODE alanına 0 yazıldığında türbinin genişleme türbini olduğu ifade edilmiş olur. Bu çeşit türbinde iç verim hesaplaması yapılmayacaktır onun için iç verim direkt veri olarak girilmelidir. Aynı zamanda egzoz kayıpları da söz konusu değildir.

Buhar türbini modellenmesinde birkaç çeşit modelleme bulunmaktadır. Geniş buhar türbinleri fazla sayıda kademe içermektedirler. Bunun için Şekil 3.5' de verilen modeller ile TUCODE a 1' den 9' a kadar rakamlar yazılarak herhangi büyüklükte türbin modellenebilir. Bütün bu modeller için iç verimin hesaplanmasına yönelik prosedürler bulunmakta.

### Veri Giriş Parametreleri

TUCODE: 5 dijite içeren türbin çeşidini belirten kod. Sırasıyla t1 t2 t3 t4 t5. t1 en sola yazılan koddur ve türbin çeşidini belirtmektedir. Varsayılan t1 kodu sıfırdır.

GDCODE: Eğer 2 (GDCODE=2) yazarsak ana kademenin olduğunu 1 yazarsak ana kademe olmadığını varsayabiliriz.

ETHAI: İzentropik verim. TUCODE=0 için bilinmemektedir.

ETHAM: Mekanik verim % 100 olarak varsayılır.

Turbine type	TUCODE	GDCODE	ETHAID 1)	Required data	Optional data
General turbine	0	1 or 2	Not applicable.	-	ETHAI
Intermediate pressure section 2) (with double reheating)	10000	1	Not applicable	-	-
High pressure section with 1-row governing stage	2f00v	2	0.870	DIAIN	POUTDS, DESMAS 3)
High pressure section with 2-row governing stage	3f00v	2	0.840	-	POUTDS, DESMAS 3)
Turbine without reheater with 2-row governing stage	4f000	2	0.8948	-	POUTRT, DESMAS 3)
Condensing section MP + LP, 3000 rpm 4)	5mdLe	1	0.9193	SLENG, DIAOUT	-
Back pressure turbine (pressure controlled)	60c00	2	0.800	DESMAS, DELH	-
Back pressure turbine (mass flow controlled)	70c00	2	0.800	DESMAS, DELH	-
Condensing section 3000/1500 rpm 4)	8mdLe	1	0.9193	SLENG, DIAOUT	PINCND
Condensing section 1500 rpm 4)	9mdLe	1	0.9295	SLENG, DIAOUT	-

Şekil 3.5 Türbin çeşitleri için kodlama tablosu (CT user manuel)

Explanation to Table 2-2:

TUCODE	=	f:	number of parallel flows (flows)	t <sub>2</sub>
		m:	number of parallel flows in the medium pressure part of the condensing section	t <sub>2</sub>
		L:	number of parallel flows in the low pressure part of the condensing section	t <sub>4</sub>
		v:	number of inlet valves (valves)	t <sub>5</sub>
		c:	correction for the isentropic enthalpy drop	t <sub>3</sub>
		d:	outlet direction of the condensing section (direction):	t <sub>3</sub>
			d = 1: downward, at 3000 and 3600 rpm (t <sub>1</sub> = 5)	
			d = 2: downward, at 1500 and 1800 rpm (t <sub>1</sub> = 8 of 9)	
			d = 3: axial, at 1500 and 1800 rpm (t <sub>1</sub> = 8 of 9), (structurally only possible for one outlet)	
		e:	shape of the expansion line for condensing sections	t <sub>5</sub>
			e = 0: straight expansion line in h,s-diagram	
			e = 1: curved expansion line	

Şekil 3.6 kodlama tablosu açıklaması (CT user manuel)

ETHAID: İzentropik verim değeri

DIAIN: ortada bulunan kanatların çapıdır. Varsayılan değeri 3600 ve 3000 rpm için 0.956m ve 1.158m dir.

DIAOUT: Son kademedeki kanatçıkların yarıçapıdır.

SLENG: Son kademedeki kanatların kanat uzunluğudur. DIAOUT ve SLENG limitleri şöyledir:

1.33=<DIAOUT=<2.30 0.36=<SLENG=<0.85 3000 ve 3600 rpm için

2.29=<DIAOUT=<3.858 0.88=<SLENG=<1.32 1500 ve 1800 rpm için

DESMAS: Dizayn için giren kütle debisi

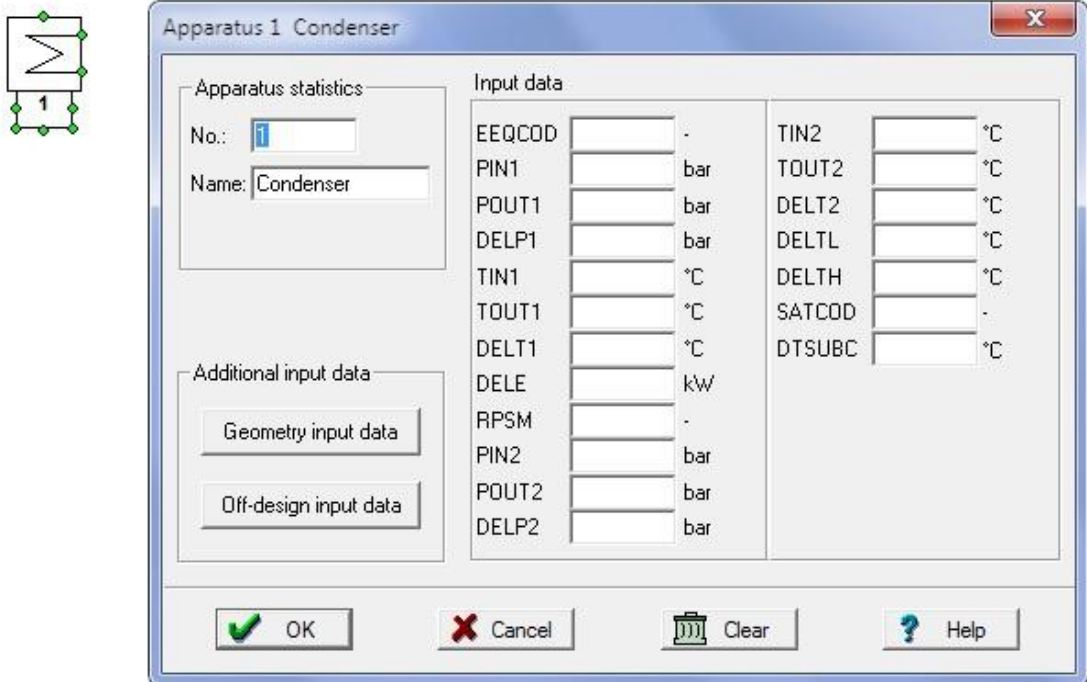
PINCND: Alçak ve orta basınç arasındaki basınç farkı; parçalı yük hesaplarında yazılmalıdır.

POUTDS: Çıkış basıncının tasarım değeridir.

POUTRT: Ana durumdaki aşağı akış basıncı. Varsayılan  $0.65 \cdot PIN$

DELH: İzentropik entalpi düşüşü tasarım durumunda.

### 3.1.4 Kondenser (Condenser)



Şekil 3.7 Kondenserin sembolü ve veri giriş kutusu

Kondenserler buhar türbini çıkışında kullanılmaktadır. Türbinden gelen buharın ikinci bir soğuk suyun ya direkt ya da bir ısı eşanjörü yardımıyla yoğuşturulmasını sağlayarak ısı atımını sağlamaktadır. 1 no'lu sıcaklık ve basınçlar soğutan suyu, 2 nolu basınç ve sıcaklıklarda yoğuşan buhar tarafını göstermektedir. Kondenserdeki hesaplamalarda enerji denge denklemi kullanılarak bilinmeyen kütle ya da entalpi hesaplanmaktadır. EEQCOD=1 yazıldığında kütle debisi hesaplanmaktadır. Bunun için matris sistemine enerji denklemi eklenmektedir. EEQCOD=2 yazıldığında giriş ve çıkışlardaki entalpiler hesaplanmaktadır. Bunlar için enerji denklemi sisteme eklenmemektedir.

### **Veri Giriş Değerleri**

EEQCOD: kütlenin debisi ya da sıcaklığın hesaplanması için girile koddur. 1 girildiğinde debi, 2 girildiğinde sıcaklık hesaplanır.

SATCOD: Yoğuşma kodudur. 0 yazıldığında ikincil yani soğuyan ya da yoğuşan akışkanın yoğuşma sıcaklığında sıvı olduğunu belirtir.

RPSM: Birinci ve ikinci akışkan arasındaki tahmini orandır. Varsayılan değer 65 tir. EEQCOD nin 2 olduğu durumda kullanılmaktadır.

DELTH: Buharın yoğuşma sıcaklığı ile soğutma suyunun çıkış sıcaklığı arasındaki fark.

DELTL: Kondensin kondenserden çıkış sıcaklığı ile soğutma suyunun giriş sıcaklığı arasındaki fark.

DTSUBC: Yoğuşma sıcaklığı ile yoğuşan sıvının çıkış sıcaklığı arasındaki fark.

DELE: Çevreye olan enerji akışı.

Not: DELT2 sıcaklık yükselmesi olarak yazıldığında yoğuşma kısmına eksi değerde girilmelidir.

SATCOD=0.0 olarak yazılırsa DTSUBC,TOUT2,DELTL nin değerlerinin girilmesine gerek kalmayabilir. SATCOD belirtilmezse dDTSUBC,TOUT2,DELTL mutlaka belirtilmelidir.

### **Sisteme Eklenen Denklem Sayısı**

Bu ekipmanla sisteme 2 kütle denklemi eklenmektedir(EEQCOD=2). Eğer EEQCOD=1 yazılırsa sisteme bir de enerji denklemi eklenir böylelikle denklem sayısı 3 olur.

### Hesaplama Kuralı

Soğutma suyu için,

$$P_{out} = P_{in} - DELP1 \text{ (delp1= soğutan tarafın basınç farkı)}$$

$$T_{out} = T_{in} + DELT1 \text{ (delt1= soğutma suyundaki sıcaklık artışı)}$$

$$T_{ss} = f_{sat}(P_{in,s})$$

$$T_{out,p} = T_{ss} - DELTH$$

$$T_{in,p} = T_{out,s} - DELTL$$

Yoğuşma tarafı için,

$$P_{out} = P_{in} - DELP2 \text{ (delp2=yoğuşma tarafı için basınç kaybı)}$$

$$T_{out} = T_{in} + DELT2 \text{ (delt2=yoğuşmadaki sıcaklık farkı)}$$

$$T_{ss} = T_{out,p} + DELTH$$

$$P_{out,s} = f_{sat}(T_{ss})$$

$$T_{out,s} = T_{in,p} + DELTL$$

$$T_{out,s} = f_{sat}(P_{out,s}) \text{ SATCOD=0 olduğunda uygulanır}$$

$$T_{ss} = f_{sat}(P_{out,s})$$

$$T_{out,s} = T_{ss} - DTSUBC$$

### 3.1.5 Besleme Suyu Isıtıcısı (Feed Water Heater, Flashed Heater)

Besleme suyu ısıtıcısı türbinden alınan buharı kullanmaktadır. Kütle debisi hesaplamalarında enerji dengesi kullanılmakta ve sistem matrisine bir denklem eklenmektedir. Türbinden alınan buhar yanlardan gelen girişlere gelir( Şekil 3.8). Üst ve altta ortada bulunan 2 nokta birincil tarafın giriş ve çıkışlarını gösterir. Ve soğutucu tarafın giriş ve çıkışıdır. İkincil taraf ise yoğuşmanın ya da soğumanın olduğu taraftır.

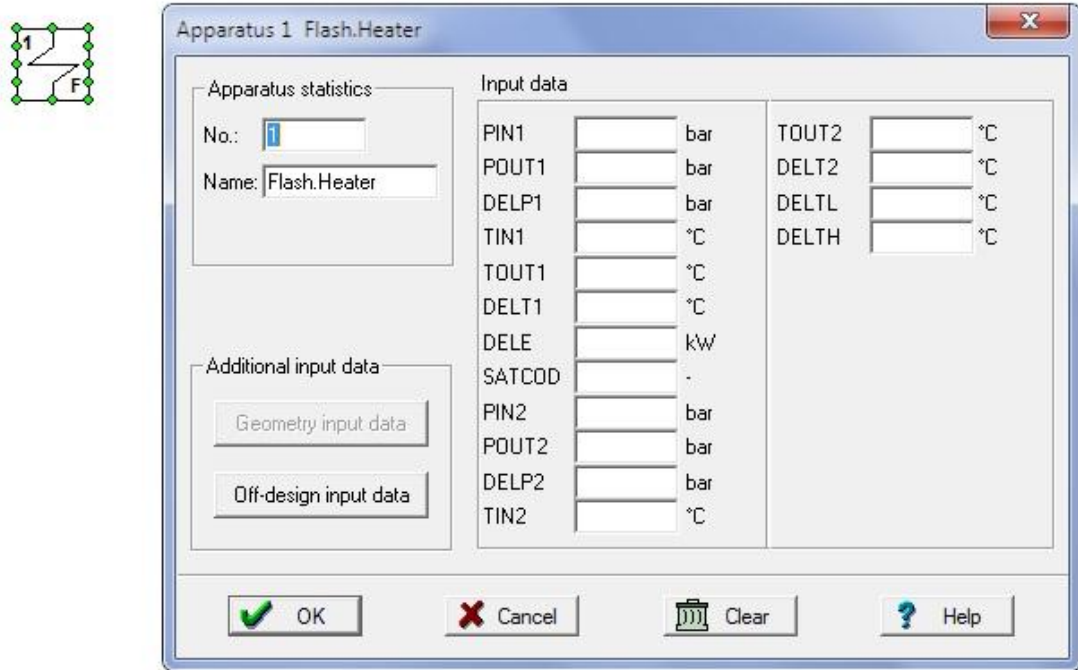
#### Veri Giriş Değerleri

SATCOD: 0.0 olarak girildiğinde ikincil tarafın yoğuşmakta olduğunu belirtmektedir. Çıkışta tamamen yoğuşmuş sıvının olduğu kabul edilir.

DELTH: Birincil tarafın çıkış sıcaklığı ile yoğuşma sıcaklığı arasındaki fark

DELTL: Birincil tarafın giriş sıcaklığı ile ikincil tarafın çıkış sıcaklığı arasındaki fark.

DELE: Çevreye olan enerji akışı



Şekil 3.8 Besleme suyu ısıtıcısı sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

### Sisteme Eklenen Denklem Sayısı

Bu ekipmanla sisteme 2 kütle ve 1 adet enerji denklemi ile toplamda 3 adet denklem eklenmektedir.

### Hesaplama Kuralları

Birincil Taraf İçin

$$P_{out,p} = P_{in,p} - \Delta P_1$$

İkincil Taraf İçin

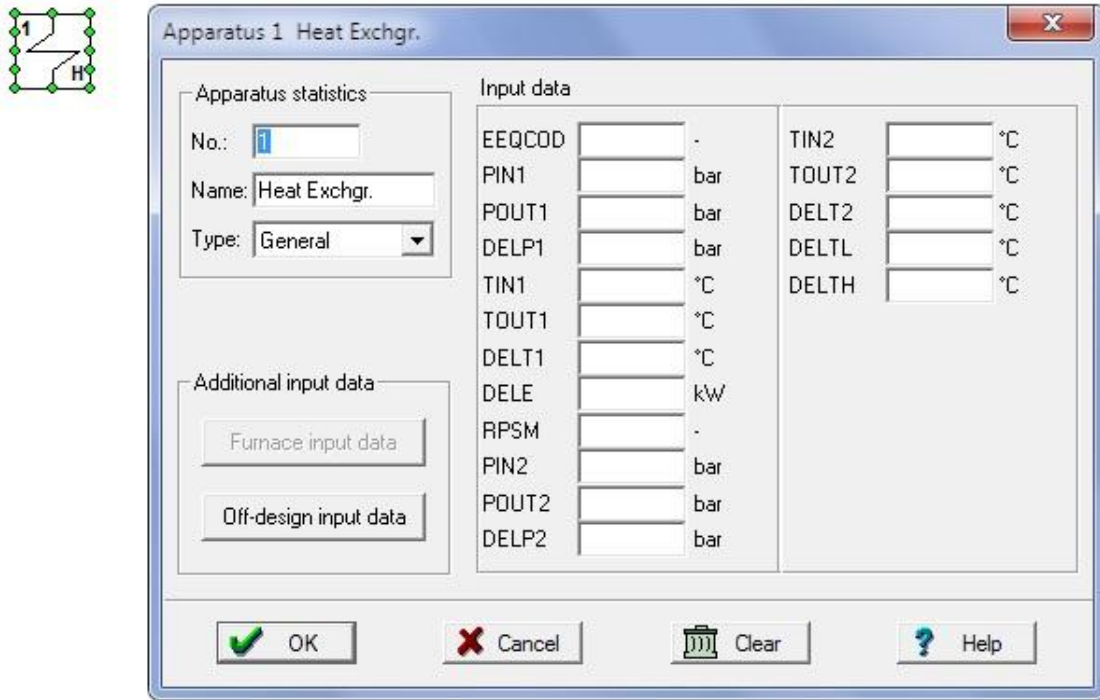
$$P_{out,s} = P_{in,s} - \Delta P_2$$

$T_{ss} = T_{out,p} + DELTH$  sadece 1 ikincil kısım girişinde geçerlidir. Yoğuşma koşullarında geçerlidir.

$$P_{in,s} = f_{sat}(T_{ss})$$



Fırınlar için EEQCOD=1 seçilmeli ve ışıma sabiti ışıma çıkış sıcaklığı baz alınarak hesaplanmalıdır.



Şekil 3.10 Isı Değiştirici sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

Enerji denklemi kodu olan EEQCOD enerji denkleminin kullanımını aşağıdaki şekillerde belirtmektedir.

- EEQCOD=1: Enerji denklemi kütle akışını bulmada kullanılmaktadır. Kullanıcı production function isimli kısma ısı eşanjöründe enerji kaybını belirtmediği sürece program enerji kayıplarını kendiliğinden hesaplayacaktır. Enerji denklemi sisteme eklenmektedir.
- EEQCOD=2: Enerji denklemi giriş ve çıkış entalpilerini hesaplamakta kullanılmaktadır. Enerji denklemi sisteme eklenmemektedir.

### Veri Giriş Değerleri

EEQCOD: Enerji denge denkleminin kütle debisi(EEQCOD=1) ya da sıcaklık(EEQCOD=2) hesaplamasını yapar. Varsayılan değer 2 dir.

DELTH= yüksek ara sıcaklıklar farkı.(Şekil2.4)

DELT: Düşük sıcaklıklar farkı(Şekil 2.4)

RPSM: Birincil/ikincil kütle debisi için ilk tahmin değeri EEQCOD=2 durumunda. Eksi değer paralel akış, pozitif değer karşıt akışı göstermektedir. Varsayılan 1 dir.

DELE: EEQCOD=2 durumunda çevreye olan enerji akışıdır.

### **Sistem Matrisine Eklediği Denklem Sayısı**

EEQCOD=1 ike 2 kütle 1 enerji denklemi ekleyerek toplamda 3 denklem, EEQCOD=2 iken de sadece 2 kütle denklemi ekler.

### **Hesaplama Kuralları**

Bütün durumlarda,

$$1. P_{out} = P_{in} - \Delta P$$

$$2. T_{out} = T_{in} - \Delta T$$

Karşıt akışlarda:

Birincil kısım için,

$$T_{out,p} = T_{in,s} - DELTH \text{ sadece bir girişli ikincil kısım}$$

$$T_{in,p} = T_{out,s} - DELTL$$

İkincil Kısım için,

$$T_{out,s} = T_{in,p} + DELTL$$

$$T_{in,s} = T_{out,p} + DELTH \text{ sadece bir girişli ikincil kısımda}$$

Paralel akışta:

Birincil Kısım için,

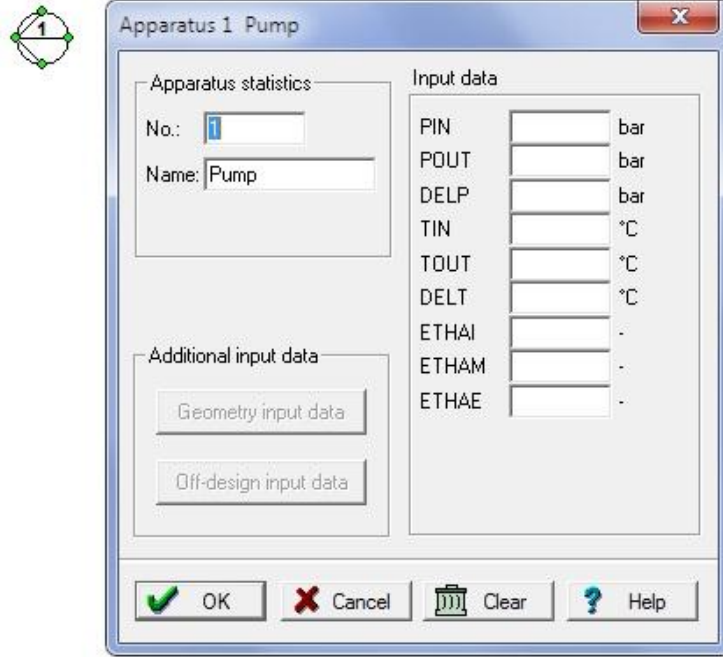
$$T_{out,p} = T_{in,s} - DELTL \text{ sadece bir girişli ikincil kısım}$$

$$T_{in,p} = T_{in,s} - DELTH \text{ İkincil Kısım için}$$

$$T_{out,s} = T_{out,p} + DELTL$$

$$T_{in,s} = T_{in,p} + DELTH \text{ sadece bir girişli ikincil kısımda}$$

### 3.1.7 Pompa



Şekil 3.11 Pompa sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

Pompa sistemde akışkanın basıncının istenen basınca çıkarılmasını sağlayarak akışkanın devrinde rol oynar. 1 giriş ve bir çıkış noktası vardır. Yan noktalara da şaftlar bağlanmaktadır.

#### Veri Giriş Değerleri

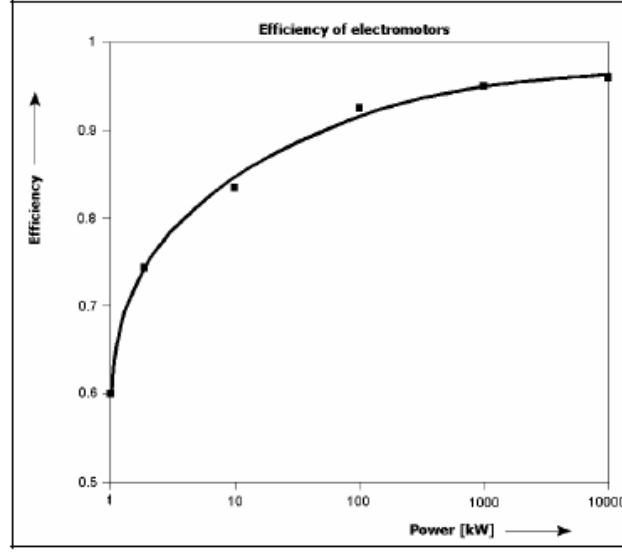
ETHAI: İzentropik verim.

ETHAM: Mekanik verim.

ETHAE: Elektrik verimi.

Eğer ETHAM ya da ETHAE den biri belirtilmemiş ise belirtilmeyen 1 olarak alınır. Fakat her ikisi de verilmemiş ise toplam verim program tarafından Şekil 3.12' den interpolasyon ile hesaplanır.

Sisteme 1 adet kütle denklemi eklenmektedir.



Şekil 3.12 Program içinde pompa hesaplamalarında kullanılan verim-güç diyagramı (CT user manuel)

### Hesaplama Kuralı

1.  $P_{out} = P_{in} - \Delta P$
2.  $T_{out} = T_{in} - \Delta T$
3.  $h_{in} = f(h_{out}, \eta_I)$

### 3.1.8 Kuyu, Kaynak, Genişleme Vanası (Sink, Source, Expansion Valve)

Apparatus 1 Sink/Source

Apparatus statistics:

No.:

Name: Sink/Source

Additional input data:

Input data	
PIN	bar
POUT	bar
DELP	bar
TIN	°C
TOUT	°C
DELT	°C
DELE	kW
DELM	kg/s
HIN	kJ/kg
HOUT	kJ/kg
DELH	kJ/kg
XIN	-
XOUT	-
PIPE	-
ESTMAS	kg/s
LHV	kJ/kg
SUBTYP	-
DTSUBC	°C
DTSUPH	°C
WFOT	-
ESTTIN	°C
ESTTOU	°C
DELV	m <sup>3</sup> /s
DELVN	nm <sup>3</sup> /s

OK Cancel Clear Help

Şekil 3.13 Kuyu sembol ve veri giriş kutusu

Bu ekipman ısı ya da küteller için yutucu ya da kaynak olarak kullanılabilirdiği gibi aynı zamanda genişleme vanası olan basınç düşürücü olarak da kullanılabilir. Bunun yanında maddenin bileşimlerinin değiştiği bir ekipman olarak da ya da sıcaklık tahmini için de kullanılabilir.

Kütle için kullanıldığı durumda sisteme 1 kütle denklemi eklenmektedir ve sadece ekipmana 1 adet boru bağlanmalıdır. Diğer bütün durumlarda 1 giriş ve 1 çıkış borusu bağlanmalıdır. Eğer ısı kaynağı ya da ısı tutucu olarak kullanılmak istenirse DELE mutlaka yazılmalıdır. Basınç düşürmek için kullanılacaksa da DELH=0.0 olarak girilmelidir.

### **Veri Giriş Değerleri**

HIN: Giriş için Özgül entalpi

HOUT: Çıkış için özgül entalpi

DELH: Giriş ve çıkış arasında özgül entalpi farkı

XIN: Girişteki kuruluk derecesi

XOUT: Çıkıştaki kuruluk derecesi

DELM: Sisteme olan ya da sistemden dışarı olan kütleli debi

DELV: Sisteme ya da sistemden dışarı olan hacimsel debi

DELVN: Normal şartlardaki hacimsel debi

PIPE: DELM, DELV ya da DELVN düşünüldüğünde akış olan boru numarası

ESTMAS: Tahmini kütleli debidir. Ve DELE yazıldığı zaman yazılmalıdır.

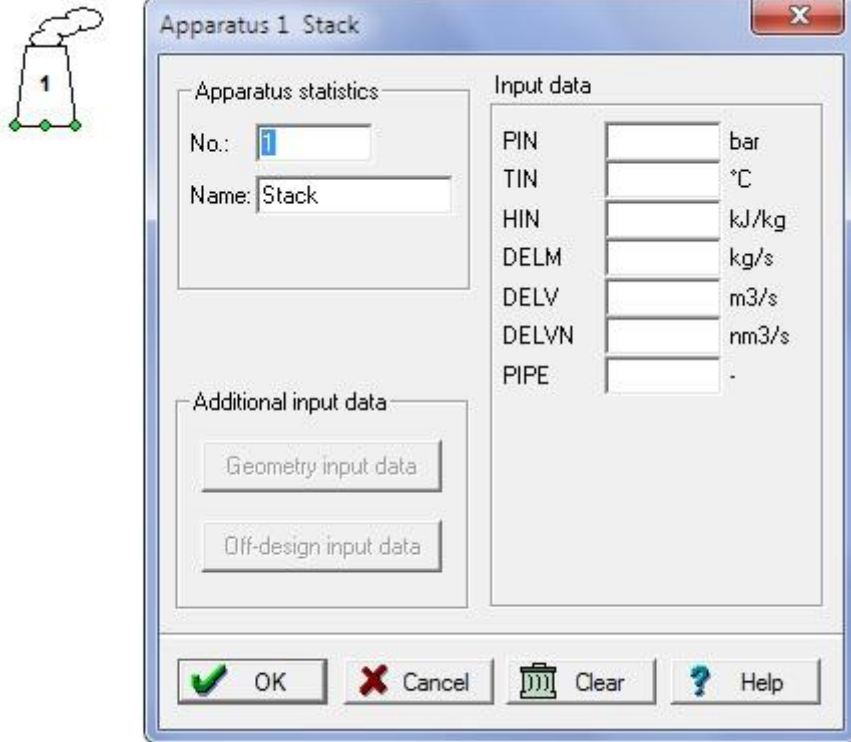
LHV: Sisteme giren yakıtın alt ısı değeri

DTSUBC: alt soğutma derecesi: Yoğuşmuş sıvı ile gerçek sıcaklık arasındaki fark.

DTSUPH: Kızdırma derecesi: Gerçek sıcaklık ile saf buharın sıcaklık farkı.

SUBTYP: Sink ya da source belirten kod. 0 ise genel kullanılır. 1 ise ısı yutucu. 2 ise yakıt kaynağı olarak kullanılacağını gösterir.

### 3.1.9 Baca (Stack)

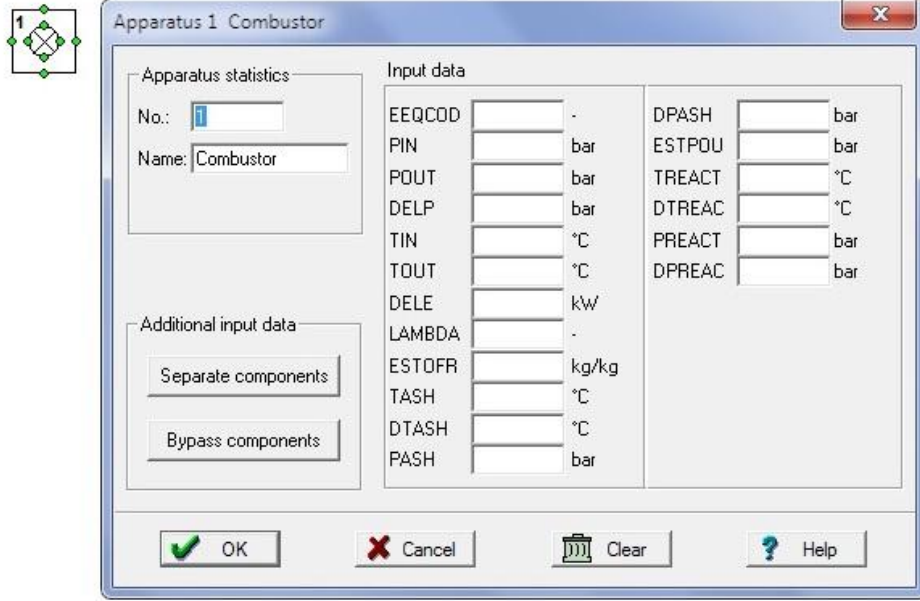


Şekil 3.14 Baca sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

Baca atık gazların atıldığını gösteren bir ekipmandır. Bacanın çıkış değerleri çevre değerleri ile eşit olarak alınır. Eğer değerler özellikle belirtilmemiş ise program çevre koşullarında ne belirtilmiş ise o değerleri kullanmaktadır.

### 3.1.10 Yanma Odası ( Combuster)

Yanma odası sisteme giren yakıtın oksijen reaksiyona girerek yakılmasını sağlayan odadır. Reaksiyonda oluşan gazın kimyasal bileşimi belirtilmiş koşullardaki giren gazın kimyasal bileşiminin oksijenle yakılması ile oluşur. Yanma odasında herhangi bir ısı transfer alanı modellenmemiştir. Şekil 3.15' de yanma odası sembolüne bakılırsa yakıt girişi ve çıkışı bağlantılarının içindeki boru bağlantı noktalarına yapılması gerekmektedir. Hava ya da oksijen gazı girişi dıştaki bağlantı noktalarına yapılmaktadır. Kül çıkışı da yine dıştaki bağlantı noktalarından birine yapılmalıdır. Oluşan ısı, gaz ve küllerin sıcaklıklarını arttırmaktadır. Reaksiyon entalpisi enerji denge denkleminde elde edilmektedir. Enerji denge denklemi EEQCOD' nin seçimine bağlıdır. Kullanımı aşağıdaki gibi belirtilmiştir.



Şekil 3.15 Yanma odası sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

- EEQCOD=1 ise enerji denge denklemi kütleli debini hesaplanmasında kullanılır. Bu modelde adet bilinmeyen kütleli debi vardır. Kül debisi ayrıca hesaplanır. 2 adet kütleli debi sistem çözümüne eklemektedir. Kaybolan kül debisi ise ayrıca hesaplanır sistem çözümüne dahil edilmez.
- EEQCOD= 2(Varsayılan) olduğu durumda ise enerji denge denklemi oluşan gazın sıcaklığını hesaplamada kullanılmaktadır. Bu durumda bilinmeyen kütleli debinin hesaplanması ise sadece 1 denklem toplam kütleli debi sistem matrisine eklenmektedir. Diğer maddenin bilinmeyen debileri 2 şekilde bulunabilir:
  - Ya 2 si de başka yerde hesaplanır ya da belirtilir.
  - Hava Faktörü dediğimiz lamda yanma da belirtilebilir.

Külün belirtildiği durumda, bileşim ya da kütleli debi aşağıdaki şekillerde bulunabilir:

- Katı ya da sıvı bileşimlerin otomatik olarak kül borusuna atılması ile. Bu bileşimler  $Al_2O_3(s)$ ,  $Al_2O_3(l)$ ,  $Fe_2O_3(s)$ ,  $SiO_2(s)$ ,  $SiO_2(l)$
- Yakıt borusundaki kütle ya da mol akışı açısından komponent başına düşen kütleli ya da molar yüzde özelliği ile

Yakıt ve oksijen borularından gelen bileşimler her zaman belirtilmelidir ya da ekipmana gelmeden önce hesaplanmalıdırlar. Gaz borusu içindeki bileşim kimyasal denklemlere göre hesaplanmaktadır. Programda reaksiyona girmeyen gazların reaksiyona girmemesini sağlamakta kullanıcının elindedir.

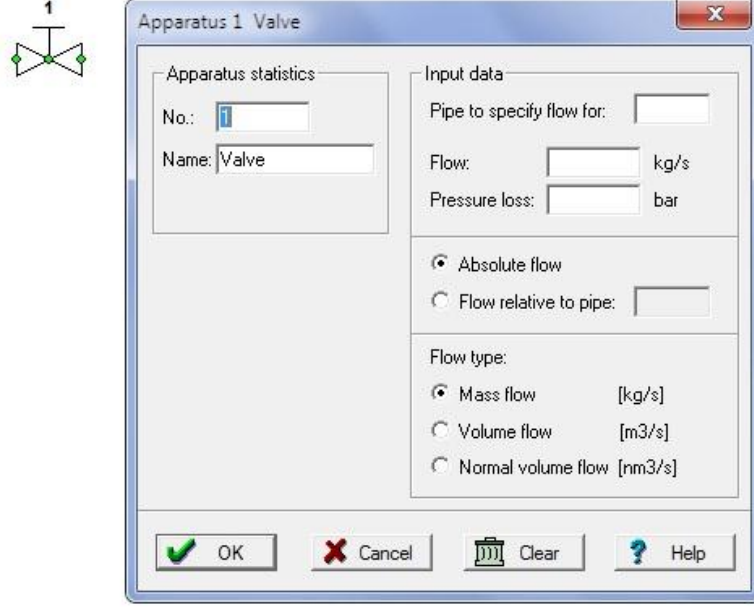
Kimyasal denklemin oluştuğu sıcaklık (T<sub>REACT</sub>) belirtilebilir. T<sub>REACT</sub>' in belirtilmediği durumda çıkış sıcaklığı tepkime sıcaklığı olarak kabul edilecektir. Yine Çıkış sıcaklığı ile tepkime sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkını (DT<sub>REACT</sub>) da yazarak ta tepkime sıcaklığı hesaplanabilir.

Bu ekipmanın kullanılması ile eğer varsayılan değeri 2 olan EEQCOD' yi kullanırsa sisteme 1 kütle denklemi eklenecektir. Ya da EEQCOD=1 veya EEQCOD=2 ve LAMBDA şeklinde bir kullanım yapılırsa 1 kütle denklemi daha sisteme eklenecektir. Eğer bir de kül borusunu bağlanırsa ekstra olarak 1 kütle denklemi daha sisteme eklenmektedir.

### **3.1.11 Vana (Valve)**

Vana ayırma ya da karıştırma vanası olarak kullanılabilir. Ayırma vanası olarak kullandığımızda en fazla 1 girişli ve en az 1 çıkış en fazla 4 çıkışlı olarak boru bağlantısı yapabiliriz. Karıştırıcı olarak ise En az 1 en fazla 4 girişli ve en fazla 1 çıkışlı olarak kullanmamız mümkündür. Bu ekipman sayesinde bağlı bulunan borularda olan kütleli ya da hacimsel debiler kolaylıkla belirtilebilir. Bu debiler bağlı ya da mutlak olarak belirtilebilmektedir. Ayırıcı olarak kullanıldığında 1 tane çıkış debisi, karıştırıcı olarak kullanıldığında 1 tane giriş debisi belirtilir.

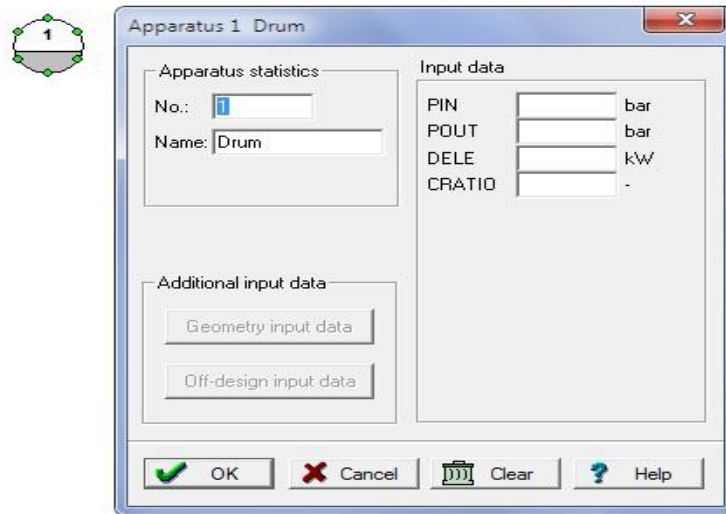
Aynı zamanda sistemde oluşan basınç kaybı da veri olarak girilebilmektedir. Bu ekipman 1 giriş ve 1 çıkış olarak kullanmakta mümkündür. Bu sayede sistem içinde dolaşan debiyi kullanıcı belirlemiş olur. Bu ekipman ile birlikte sisteme 2 adet kütle denklemi eklenmiş olacaktır.



Şekil 3.16 Vana sembol ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

### 3.1.12 Dom (Drum)

Bu ekipman sıvı ve buharın ikisinin karışımında kullanılabileceği gibi 2 fazlı karışımın da ayrışmasında kullanılabilir. En üstteki ana buhar çıkış borusunda buhar doymuş olarak kabul edilir ve kuruluk derecesi 1 olarak alınır. En alttaki su da ise su doymuş su olarak kabul edilir ve kuruluk derecesi sıfır olarak alınır. Eğer bunların dışında bu borulara kuruluk derecesi eklenmek isteniyorsa bu borularda verilen ekstra veri girişinde sisteme eklenebilir.



Şekil 3.17 Dom sembolü ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

### 3.1.13 Kompresör (Compressor)



Apparatus 1 Compressor

Apparatus statistics

No.:

Name:

Type:

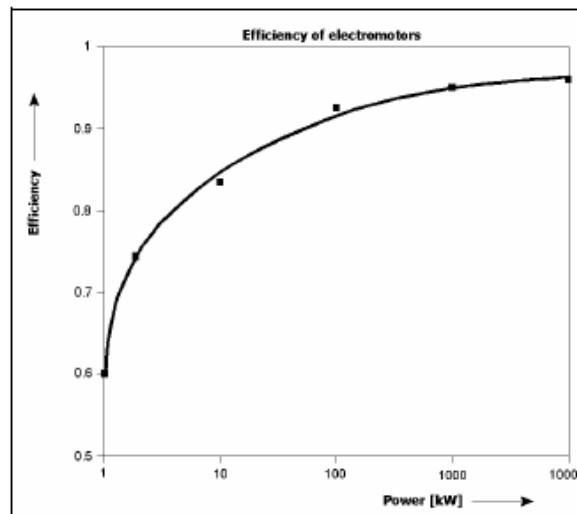
Additional input data

Input data

PIN	<input type="text"/>	bar
POUT	<input type="text"/>	bar
DELP	<input type="text"/>	bar
TIN	<input type="text"/>	°C
TOUT	<input type="text"/>	°C
DELT	<input type="text"/>	°C
PRATI	<input type="text"/>	-
ETHAI	<input type="text"/>	-
ETHAM	<input type="text"/>	-
ETHAE	<input type="text"/>	-

Şekil 3.18 Kompresör sembolü ve veri giriş kutusu (CT user manuel)

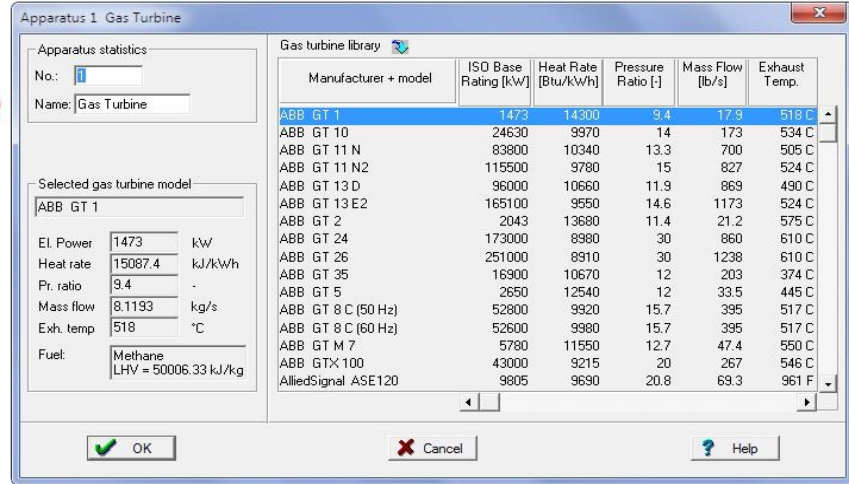
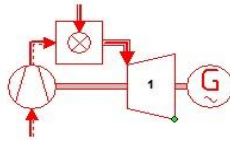
Kompresör gaz türbinlerinde dışarıdan alınan havanın belirli bir basınca sıkıştırılarak havanın yanma odasına iletilmesini sağlamaktadır. Üst noktadaki bağlantı noktası çıkışı, alt taraftaki bağlantı noktası girişi yanlardaki bağlantı noktaları da şaft bağlantılarını göstermektedir. Kompresörün de kullanımı pompa gibidir. Yine kompresörde de verimin güce bağlı grafiği aşağıdaki Şekil3.19' da gösterilmektedir:



Şekil 3.19 Kompresör verim- güç diyagramı (CT user manuel)

Kompresör kullanımı ile programda sistem matrisine 1 adet kütle denklemi eklenmektedir.

### 3.1.14 Gaz Türbini

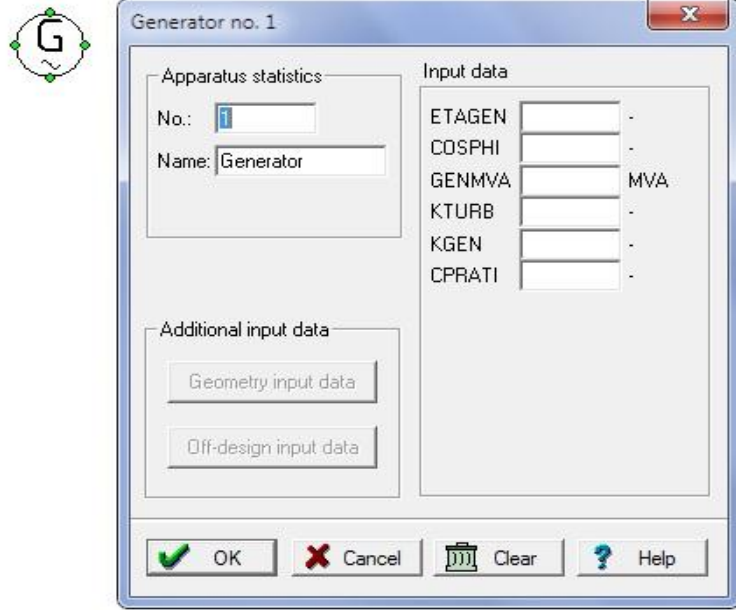


Şekil 3.20 Gaz türbini sembol ve seçim kutusu

Gaz türbini ekipmanı hızlı şekilde hesaplamalar elde etmek için kullanılmaktadır. Bu ekipmana giriş kanalı bağlantısı yapılmamakta sadece 1 adet atık gaz çıkış kanalı bağlantısı yapılabilmektedir. Fakat bu gaz türbinine herhangi bir boru bağlamadan da sade halde kullanılabilir. Bu ekipmanın içerisinde şu ana kadar üretilmiş firmalara ait gaz türbinleri bulunmaktadır. Bu gaz türbinlerini üzerine tıklayarak seçebiliriz. Bu gaz türbinlerinin hangi koşullarda çalıştığı hava giriş sıcaklıkları, atık gazı çıkış sıcaklıkları, ürettikleri güç ve verimleri, çalıştıkları basınç oranları, kütleli debileri ile kullandıkları yakıtları ve aynı zamanda üretim tarihlerini ve kim tarafından üretildiğini görmek mümkün.

### 3.1.15 Jeneratör

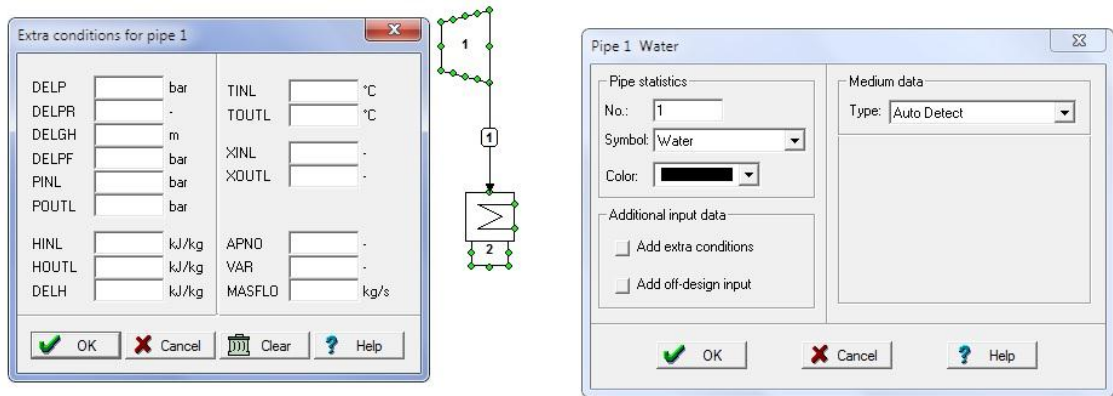
Bu ekipman mekanik gücün elektrik gücüne dönüşmesi için kullanılmaktadır. Jeneratör shaft ile türbine bağlanmaktadır. Jeneratörde Eğer ETAGEN dediğimiz jeneratör verimi belirtilmişse program diğer verileri dikkate almayacak hatta uyarıda bulunacaktır.



Şekil 3.21 Jeneratör sembol ve veri giriş kutusu

### 3.1.16 Bağlantı Ekipmanları

#### 3.1.16.1 Borular

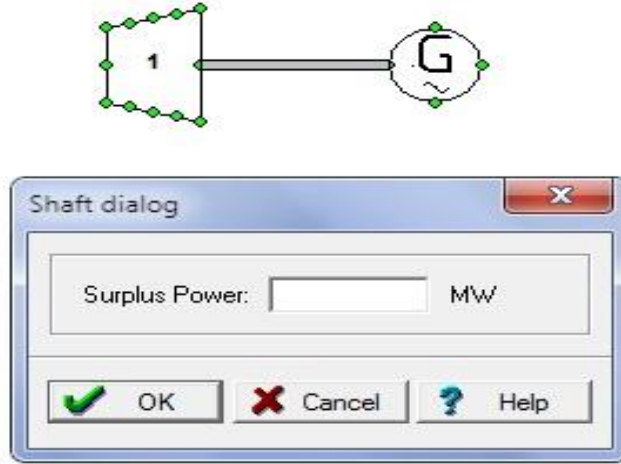


Şekil 3.22 Boru sembolü ve veri giriş kutusu

Şekil 3.22' de görüldüğü gibi türbin ile kondenseri birbirine bağlayan bağlantı elemanı borudur. Borular iki ekipmanı birbirine bağlamak için kullanılmaktadır. Bağlantı elemanları içinden geçen akışkanı önceki ekipmandan otomatik olarak almakta ve iletmektedir. Eğer önceki ve sonraki ekipmanda basınç, sıcaklık, özgül entalpi ve buhar kalitesi belirtilmişse bunları da otomatik olarak görür ya da bunlar boru içindeki veri kutucuklarına kullanıcı tarafından el ile girilebilir. Program sistemin debisini hesapladı

ise borulara yazılan değer program tarafından göz ardı edilecektir. Debinin göz ardı edilmesini istemeyen kullanıcı istediği debi için vana kullanmalıdır.

### 3.1.16.2 Şaft



Şekil 3.23 Şaft sembolü ve veri giriş kutusu

Şekil 3.23' de görüldüğü gibi türbin ile jeneratörü birbirine bağlayan eleman şafttır. Şaft üretilen mekanik gücün aktarımını sağlamaktadır.

### KOMBİNE ISI VE GÜÇ SANTRALLERİ

#### 4.1 Tanım

Kombine Isı ve Güç (KIG) sistemi bir santralde kömür, doğalgaz, petrol, biokütle(ağaç), biyogaz kullanarak eşzamanlı ısı ve güç üretimi sistemi olarak tanımlanır. Kojenerasyon diye de bilinir. Genelde santrallerin bacalarından atılan yüksek sıcaklıktaki baca gazlarının enerjisinden faydalanarak yeni bir enerji üretim sistemi ya da bir ısı üretim ünitesi oluşturulur.

#### 4.2 Uygulama Alanları

- Endüstriyel üretimlerde-kimyasal işlemlerde, inceltmelerde, etanol, küspe ve kâğıt, yiyecek işleme, cam üretiminde,
- Kurumlarda, lise ve üniversitelerde, hastanelerde, hapishanelerde, askeriyede,
- Ticari binalarda-otellerde ve gazinolarda, havaalanlarında, yüksek-teknolojili kampuslarda, gökdelenlerde,
- Belediyelerde-bölgesel ısıtma sistemlerinde, atık su temizlemelerde kullanılmaktadır [3].

#### 4.3 Sistem Çeşitleri

##### 4.3.1 Büyük Ölçekli Kombine Isı ve Güç Santralleri

Büyük ölçekli KIG santrallerinde tahrik elemanı olarak gaz türbini ya da gaz motorları kullanılır. Bu üniteler jeneratörü harekete geçirerek elektrik üretimini sağlarlar. Sonra bu ünitelerden bacaya giden gazlar atılmadan önce taşıdıkları ısıların kullanılabilmesi

için ısı değiştiricilerine ya da atık ısı kazanlarına gelir ve burada sıvı haldeki su bu gazlardan gelen ısıyı alarak sıcak suya veya buhara dönüşür. Şehir için elektrik üretimi ve şehir ısıtmasında kullanılırlar.

#### **4.3.2 Küçük Ölçekli Kombine Isı ve Güç Santralleri**

Bu tip KIG sistemlerinde tahrik elemanı olarak motorlar kullanılır. Son yıllardaki teknolojik gelişmelerle motorlar yerini mikro-türbinlere bırakmaktadır.

Küçük ölçekli KIG santralleri şemasına baktığımızda Pistonlu motor ya da mikro türbinler tahrik elemanı olarak kullanılmakta, buradan çıkan baca gazlar ısı eşanjörlerine gelerek kendi ısılarını daha düşük sıcaklıktaki sıvıya vererek buradaki sıvının sıcaklığını artırır ya da sıvının buharlaşmasını sağlarlar. Sıcak su ya da buhar genellikle ısıtma amaçlı kullanılmaktadır.

Küçük ölçekli KIG'ler otel, hastane ve eğlence merkezlerinin ısı ve elektriğini teminde kullanılmaktadırlar.

#### **4.3.3 Mikro Kombine Isı ve Güç Santralleri**

Küçük işletmeler ve birimler için uygun olan küçük ölçekli enerji ve ısı üretim sistemidir. 100 kWe kadar güç üreten sistemlerdir. İçten yanmalı motorlar, dıştan yanmalı motorlar, mikro-türbinler ve yakıt pilleri bu sistemlerde tahrik elemanları olarak kullanılmaktadır.

#### **4.4 Kombine Isı ve Güç Santrallerinin Faydaları**

KIG santralının faydaları verim, güvenilirlik, çevresel ve ekonomik yönlerden olmak üzere 4 kategoride toplanabilir.

##### **4.4.1 Faydalanma Oranı Yönünden Faydaları**

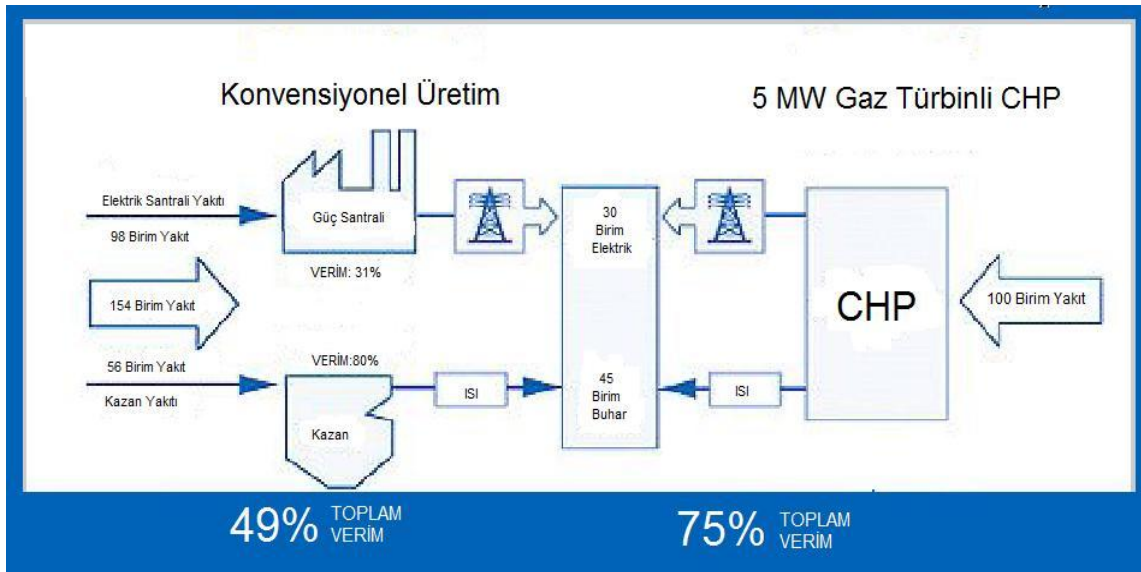
KIG günümüz şartlarında tek bir yakıttan elektrik ve ısı enerjisi üretim bakımından en çok fayda elde edilen santral sistemidir.

Dünya üzerinde termik santrallerin verimleri %30-%40 arasında değişmektedir. Bu da yaktığımız yakıtın yaklaşık olarak üçte birinin değerlendirilebildiği geri kalan üçte ikilik kısmının ise zayi olduğunu göstermektedir.

KIG sistemlerinde ise atık ısı kazanlarında dışarıya atılacak ısı yardımıyla sıvının ısıtılması yoluyla kaybedilecek enerji yeniden geri kazanılır. Böylelikle sistemin toplam faydalanma oranını elektrik ve ısı enerjisi olarak %50-%80 arasında elde edilir.

Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi Konvansiyonel ya da ayrı ayrı elektrik ve ısı üretiminde 154 birim yakıt kullanılırken 30 birim elektrik ve 45 birim buhar üretilebilmiştir. KIG santralinde ise 30 birim elektrik ile 45 birim buhar sadece 100 birim yakıt ile üretilmiştir. Faydalanma oranı analizi yapıldığında sol taraftaki santralin faydalanma oranı %49 iken KIG santralinin faydalanma oranı %75 olmaktadır. Bu da KIG santralinin ne kadar uygun bir santral olduğunu göstermektedir.

(3)



Şekil 4.1 Konvansiyonel ve kojenerasyon faydalanma oranı karşılaştırması

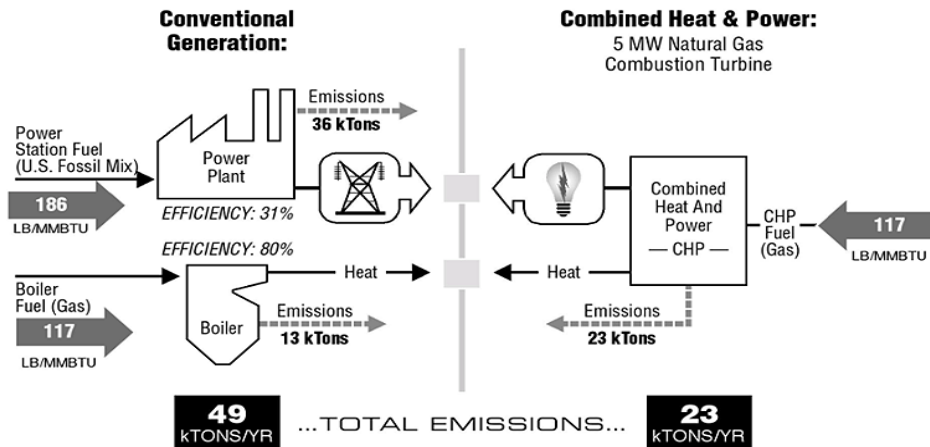
KIG sistemleri arasında da faydalanma oranı değişmektedir. Bu sistemlerdeki faydalanma oranları santrallerde kullanılan teknolojilere, santrallerin ekipmanlarının farklılığına bağlıdır. Örnek olarak tahrik elemanları değiştikçe verim de değişecektir. Aşağıda genel tahrik elemanlarının faydalanma oranları aralıkları verilmektedir:

- Buhar Türbini: 80%
- Dizel Motor: 70%-80%

- Doğal Gaz Motoru: 70%-80%
- Gaz Türbini: 70%-75%
- Mikro-Türbin: 65%-75%
- Yakıt pili: 65%-80%

#### 4.4.2 Çevresel Faydalar

KIG santralleri diğer santrallerle karşılaştırıldığında KIG santrallerinin çevreye daha az zarar verdiği görülecektir. Aynı seviyede elektrik gücü ve buhar miktarı elde etmek için elektrik ve ısının ayrı ayrı üretilmesinde yakılan yakıt miktarı fazla olacağından çevreye daha fazla baca gazı atılacak ve çevre daha fazla emisyon oranına sahip olacaktır. Fakat KIG santrallerinde ise daha az yakıt yakılacak böylelikle çevreye salınan baca gazları daha az olacaktır ve böylelikle zararlı gazların emisyon miktarı daha az olacaktır. Bu gazlar çok olursa asit yağmurları oluşmakta ve aynı zamanda karbondioksit gibi sera etkisine sebep olan gazlar küresel ısınmaya yol açmaktadır. KIG sistemlerinde ise bu zararlar daha aza indirilmektedir. Bunun yanında diğer santrallerde yüksek sıcaklıkta gazlar bacadan atılırken, KIG santrallerinde daha düşük sıcaklıklarda gazlar dışarıya atılmakta ve çevrenin doğal sıcaklığının değişimine daha az etkide bulunmaktadır. Böylece KIG santrali kurulu olan bölgelerde iklim kuşakları çok değişmeyecek, deniz seviyelerinde pek fazla oynama olmayacak, yağmur ve kar değişimleri olmayacak ve basınç değişimlerinden kaynaklanan şiddetli fırtınalar oluşmayacaktır. Şekil 4.2' de konvansiyonel üretimden oluşan emisyon miktarı ile KIG santralinde oluşan gaz emisyon miktarları verilmiştir. Konvansiyonel yolla üretilen emisyon miktarı KIG' ninkinden 2 kat daha fazladır.



Şekil 4.2 Emisyon miktarı karşılaştırması, EPA

#### **4.4.3 Ekonomik Faydalar**

KIG sisteminde daha az yakıt yakarak konvansiyonel üretimdeki buhar ve elektrik gücü değerlerine ulaşılmıştı ( Şekil 4.1) . KIG sistemde daha az yakıt daha az yakıt maliyeti demek aynı zamanda çevreyi daha az kirleteceğinden daha az çevreyi temizleme giderleri demek ve aynı zamanda bir santralde baca gazlarının ısını dışarı atılmayıp geri kazanılarak şehir ya da bölge ısıtmasında kullanılmasıyla daha fazla gelir elde edilmekte ve ısıyı kullanacak tüketici de daha az para ödemektedir.

### KONTROL HACİMLERİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Bu bölümde Prof. Dr. Yunus Çengel' in Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik adlı kitabından faydalanılmıştır.

#### 5.1 1. Kanun

Termodinamiğin 1. Kanunu enerjinin korunumu kanunu olarak bilinmektedir. Sistemin toplam enerjisi değişmemektedir. Gaz çevrimlerinde ve buhar çevrimlerinde sistemler açık olduğundan bu sistemlerin içerisinde oluşturulan kontrol hacimlerinde kanun analiz yapılacaktır. Kapalı sistemlerde kütle akışı olmadığından enerji değişimi çevreden sisteme ya da sistemden çevreye ısı ya da iş akışı ile sağlanır. Fakat açık sistemlerde sisteme ya da sistemden kütle giriş çıkışı olduğundan kütle akışı ile de enerji giriş çıkışı olmaktadır. Akışkanın toplam enerjisi aşağıdaki denklemle ifade edilir [1]:

$$E = h + ke + pe = h + V^2/2 + gz \quad (5.1)$$

Kontrol hacime giren bir akışkan akış enerjisine ( $Pv$ ) sahiptir. Böylelikle denklem;

$$\theta = Pv = h + ke + pe = h + V^2/2 + gz \quad (5.2)$$

#### 5.1.1 Sürekli Akışlı Açık Sistem

Türbin ve kompresör sürekli akışlı açık sistemlerdir. Kontrol hacimde akışkan sürekli akmaktadır. Akış zamanla değişmemektedir. Sürekli akışlı sistemle ilgili olarak [1]:

1. Sürekli akışlı sistemde sınır işi sıfırdır. Ayrıca kontrol hacme giren kütle ve enerji, kontrol hacimden çıkan kütle ve enerjiye eşittir.

2. Kontrol hacimde sınırlardaki akışkanın özelliği değişmez.

3. Sürekli akışın çevresindeki ısı ve iş etkileşimi zamanla değişmez.

Bu yüzden sürekli açık akışta giren kütle toplamı çıkan kütle toplamına eşit olduğundan kütle korunumu vardır deriz.

#### 5.1.1.1 Enerjinin Korunumu

Kontrol hacimdeki toplam enerji sabit olduğundan enerji korunum denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum (\dot{m}_c \theta_c) - \sum (\dot{m}_g \theta_g) \quad \theta = h + ke + pe \quad (5.3)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \left( h_c + \frac{V_c^2}{2} + gz_c \right) - \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (5.4)$$

1 giriş ve 1 çıkışlı açık sistemde girişi 1 çıkışı 2 indisi ile gösterirsek denklem aşağıdaki gibi olur:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[ h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \quad (5.5)$$

Ya da

$$q - w = \Delta h + \Delta ke + \Delta pe \quad (5.6)$$

Şeklinde ifade edilir.

Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri entalpi değişimi yanında çok küçük olduğundan bu değişimler ihmal edilebilir. Böylelikle denklem:

$$q - w = \Delta h \quad (5.7)$$

olarak yazılabilir.

#### 5.1.1.1.1 Türbin ve Kompresörler

Bu makinelerde kontrol hacminden ısı akışı olmadığından  $\dot{Q} = 0$  olarak alınır. Bu makineler bir shafta bağlı olduklarından güç üretmekte ya da tüketmektedirler bu yüzden  $\dot{W} \neq 0$  olarak alınır. Bunun yanında potansiyel enerji ve kinetik enerji

değişimleri çok küçük olduğundan bunlarda 0 olarak alınırlar. Böylelikle türbin ve kompresörde denklem[1]:

$$-w = \Delta h = (h_2 - h_1) \quad (5.8)$$

şeklinde ifade edilir.

### 5.1.1.1.2 Isı Eşanjörü

Isı eşanjöründe ısı alış verişi kontrol hacime bağlı olarak ele alınır. Eşanjörde iş olmayacağından güç sıfır ve yine potansiyel ve kinetik enerji değişimleri de ihmal edilebilecek değerlerde olduğundan entalpi farkları ya sıfıra ya da ısı alışverişine eşit olacaktır.

## 5.2 2.Kanun

1. kanun enerjinin toplamının değişmediğini göstermektedir. Fakat yönünü belirtmemektedir. Bu sayede 2. kanun meydana çıkmaktadır. 2. Kanuna da örnek olarak hava sıcaklığının 25 C olduğu bir ortama 5 C su koyulursa belirli bir süre sonra suyun sıcaklığı 25 derece olacaktır. Yine aynı şekilde 50 C de su koyulursa bunun da sıcaklığı 25 C olacaktır. Bu örnekte görüldüğü gibi 2 farklı durumda da su ortam sıcaklığına gelene kadar 1. durumda ortamdan ısı akışına maruz kaldı, 2. durumda ise ısı akışı bu sefer sudan ortama doğru oldu. Çoğu sistemler 1. Kanuna uyarken 2. Kanuna uymamaktadır. Çünkü bir sistem enerji alırken diğer sistem aynı miktarda enerji vermektedir. Fakat bunun tam tersi bir durumun gerçekleşip gerçekleşmeyeceği 2. Kanun ile anlaşılmaktadır. Yani soğuk su normal ortamda ısınırken bunun tersi ancak başka bir ısı makinesinin ona enerji vermesi ile gerçekleşir ya da ısı makinesi yoksa kendi kendine gerçekleşmez. Bir sistem bu yüzden 1. Kanuna uyarken 2. Kanuna uymaz. 2. Kanun aynı zamanda entropi kavramının da gelişmesini sağlamaktadır. Tersinir durumlarda Clausius eşitsizliği dediğimiz eşitsizlik sıfıra eşit iken tersinmezlikte sıfırdan büyük olmaktadır [1]. Bunu aşağıdaki gibi gösterebilir:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \text{ clausius eşitsizliği} \quad (5.10)$$

Tersinir durumda,

$$\oint \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{içten,tr} = 0 \quad (5.11)$$

Eşitsizliğin gösterildiği denklem (5.10) ise tersinmezlik durumundadır. Buradan yeni bir denklem yazacak olursak entropi üretimi için [1];

$$S_{üretim,çevrim} = - \oint \frac{\delta Q}{T} \quad (5.12)$$

### 5.3 Entropi

Entropi kavramı karmaşık bir kavramdır. S sembol olarak kullanılmaktadır ve aşağıdaki gibi ifade edilir[1]:

$$dS = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{içten,tr} \quad (5.13)$$

Bir hal değişimi incelenecek olursa entropi farkı ilk ve son haller arasındaki farka eşittir. Aradaki değişim entropiyi etkilemez [1]. Entropi değişimi şu şekilde ifade edilir[1]:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{içten,tr} \quad (5.14)$$

#### 5.3.1 Entropinin Artışı

İçten tersinir olan ve içten tersinir hal değişimlerinin olduğu bir çevrim incelediğinde Clausius eşitsizliği [1]

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (5.15)$$

şu şekilde ifade edilebilir [1]:

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_2^1 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{içten,tr} \leq 0 \quad (5.16)$$

İçten tersinir hal değişimi için entropi değişimi  $S_1 - S_2$  olduğundan denklem [1]:

$$S_1 - S_2 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (5.17)$$

ya da

$$\Delta S \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (5.18)$$

yukarıdaki denklemi diferansiyel olarak ifade edilirse [1]:

$$dS \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (5.19)$$

tersinmezlik durumunda bir miktar entropi üretimi gerçekleşmektedir aşağıdaki gibi yazılabilir. Kapalı tersinmez sistemde [1]:

$$S_1 - S_2 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{\text{üretim}} \quad (5.20)$$

Genel bir ifade olarak entropi üretimini yazacak olursak[1]:

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0 \quad (5.21)$$

Toplam entropi üretimi sıfırdan büyük ise tersinmezlik, sıfıra eşit ise tersinir hal değişimi olur hiçbir zaman sıfırdan küçük olamaz [1].

### 5.3.2 Kontrol Hacim İçin Entropi

Kontrol hacimlerindeki entropi kapalı sistemlerden farklı olarak sisteme olan ya da sistemden olan kütle akış entropilerinin de sisteme dâhil edilmesi ile hesaplanmaktadır. Bir boyutlu akış için [1]:

$$\frac{dS_{KH}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} + \sum \dot{m}_g s_g - \sum \dot{m}_ç s_ç + \dot{S}_{\text{üretim},KH} \quad (5.22)$$

Denklemin sol tarafındaki terim birim zaman kontrol hacim içerisindeki entropi değişimini ifade ederken, sağ tarafındaki ilk terim birim zamanda ısıyla geçen entropiyi, ikinci terim ise kütle giriş çıkışı ile oluşan entropiyi, son terim ise tersinmezlik sonucu üretilen entropiyi ifade etmektedir. Adyabatik kontrol hacimde ise denklemin sağında bulunan ısı geçişi ile olan entropi ısı geçişi olmayacağından ihmal edilir. Eğer sistem içten tersinirse de entropi üretimi de sıfır olacaktır [1].

Eğer akış bir boyutlu değilse denklem şu şekilde yazılır [1]:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho s dV = \int_A \frac{\dot{q}}{T} dA + \sum \left( \int_A s \rho V_n dA \right)_g - \sum \left( \int_A s \rho V_n dA \right)_ç + \dot{S}_{\text{üretim},KH} \quad (5.23)$$

Açık sistemde entropi üretimi genel itibari ile açık sistem ve çevresini ele alarak ayrık sistem kabulü ile yapılır. Böylelikle denklemi ifade edecek olursak kontrol hacmi sınırları dışında entropi üretimi olmayacağından  $\dot{S}_{\text{üretim},KH}$  yerine açık sistemde sistem ve çevrenin toplam entropi üretimi  $\dot{S}_{\text{üretim}}$  yazılabilir. Çevrenin entropi değişimi sistemin entropi değişiminin tersi olacağından [1]:

$$\frac{dS_{\text{çevre}}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \quad (5.24)$$

Bir boyutlu olmayan akış için yazılan entropi denkleminde entropi üretimi yerine yukarıdaki denklem eksi işaretli olarak konulursa ve  $\dot{S}_{\text{üretim}}$  aşağıdaki gibi çözülür [1]:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\text{ç} \dot{s}_\text{ç} - \sum \dot{m}_\text{g} \dot{s}_\text{g} + \frac{dS_{KH}}{dt} + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \quad (5.25)$$

Kontrol hacmi sadece T çevre sıcaklığındaki çevreyle  $Q_{\text{çevre}}$  miktarda ısı alışverişinde bulunuyorsa çevrenin entropi değişimi  $d\dot{S}_{\text{çevre}}/dt = \dot{Q}_{\text{çevre}}/T_{\text{çevre}}$  olur [1].

Sürekli akışlı açık sistem için kontrol hacim için birim zamandaki entropi değişimi sıfır olacağından denklem aşağıdaki gibi yazılır [1]:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\text{ç} s_\text{ç} - \sum \dot{m}_\text{g} s_\text{g} + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \geq 0 \quad (5.26)$$

Bu denklem bir giriş ve bir çıkış sürekli akış için aşağıdaki gibi yazılabilir [1]:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_\text{ç} - s_\text{g}) + \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} \geq 0 \quad (5.27)$$

birim kütle için ifade edilecek olursa [1],

$$\dot{s}_{\text{üretim}} = (s_\text{ç} - s_\text{g}) + \frac{\dot{q}_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} \geq 0 \quad (5.28)$$

düzgün akışlı dengeli açık sistem için ise,

$$S_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\text{ç} s_\text{ç} - \sum \dot{m}_\text{g} s_\text{g} + (S_2 - S_1)_{KH} \sum \frac{Q_R}{T_R} \quad (5.29)$$

şeklinde ifade edilir [1].

Bunların yanında termodinamiğin 3. kanunu mutlak sıfır sıcaklıkta saf kristal maddenin entropisinin sıfır olduğunu belirtir. Bu kanun bir referans noktası tanımlar. Bu referans noktasına göre alınan entropi de mutlak entropi olarak adlandırılır [1].

Entropi maddelerin bir özelliği olduğundan dolayı diğer özelliklerle bağlantısı aşağıdaki gibi kurulabilir [1]:

$$Tds = du + Pdv \quad (5.30)$$

$$Tds = dh - Pdv \quad (5.40)$$

Bir hal değişimi için entropi bağlantıları aşağıdaki gibidir [1]:

saf maddeler için;

herhangi bir hal değişimi:

$$\Delta s = s_2 - s_1 \quad (5.41)$$

izentropik hal değişimi:

$$s_2 = s_1 \quad (5.42)$$

sıkıştırılmaz maddeler için;

herhangi bir hal değişimi:

$$s_2 - s_1 = C_{ort} \frac{T_2}{T_1} \quad (5.43)$$

izentropik hal değişimi:

$$T_2 = T_1 \quad (5.44)$$

mükemmel gazlar için;

sabit özgül ısılar için (yaklaşık çözüm):

herhangi bir hal değişimi:

$$s_2 - s_1 = C_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (5.45)$$

ve

$$s_2 - s_1 = C_{p,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (5.46)$$

izentropik hal değişimi:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)_{s=sabit} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} \quad (5.47)$$

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)_{s=sabit} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (5.48)$$

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{s=sabit} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k \quad (5.49)$$

sürekli akışlı makinalarda makinaların ideal sisteme göre yaptıkları iş izentropik verimle ifade edilir [1].

Türbin için:

$$\eta_T = \frac{\text{gerçek türbin işi}}{\text{izentropik türbin işi}} = \frac{w}{w_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (5.50)$$

Kompresör için:

$$\eta_K = \frac{\text{izentropik kompresör işi}}{\text{gerçek kompresör işi}} = \frac{w_s}{w} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (5.60)$$

entropi kavramını izah ettikten sonra şimdi de işin kullanılabilirliği ve açık sistemlerdeki 2. Kanun analizlerini yapmakta.

Normalde sistemlerde ideal koşullar ele alındığında sistem çevre ile etkileşiminde çevre ile aynı koşullara gelene kadar iş yapmaktadır. Bu sistemden çevreye ya da çevreden sisteme yapılan iş çevre işi olarak adlandırılmaktadır. Fakat gerçekte iş çevre işine eşit olmayabilir. Bu yüzden gerçek iş ile çevre işi arasındaki farka yararlı iş denir.  $W_y$  ile gösterilir [1].

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} \quad (5.61)$$

Aynı zamanda tersinir iş dediğimiz herhangi bir hal değişiminde sistemden elde edilebilecek en çok yararlı iş ile yararlı iş arasındaki fark tersinmezliklerden kaynaklanır ve  $I$  ile gösterilir [1]. Aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$I = W_{tr} - W_y \quad (5.62)$$

Birim kütle için:

$$i = w_{tr} - w_y \quad (5.63)$$

birim zamandaki tersinmezlik ise:

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y \quad (5.64)$$

T sıcaklığındaki bir sistemin  $T_0$  sıcaklığındaki çevre ile arasında ısı alış verişi bulunmaktadır. Carnot verimini ele aldığımızda verim  $1 - T_0/T$  olacaktır. Ve T sıcaklığındaki ısı geçişi Q ise kullanılabilir ısı  $A_Q$  :

$$A_Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad (5.65)$$

olarak ifade edilmektedir [1].

### 5.3.3 2. Kanun Verimi ( $\eta_{II}$ )

Gerçek ısı verimin aynı şartlarda elde edilebilecek maksimum verime oranıdır[1]:

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,tr}} \quad (5.66)$$

Aynı zamanda makineden elde edilen yararlı işin elde edilebilecek maksimum işe oranı olarak ta tanımlanır ve türbin için [1]:

$$\eta_{II} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (5.67)$$

Kompresörde ise gerekli en az işin yapılan yararlı işe oranıdır [1]:

$$\eta_{II} = \frac{W_{tr}}{W_y} \quad (5.68)$$

### 5.3.4 Sürekli Akışlı Açık Sistemlerin 2. Kanun Çözümlemesi

Türbin, kompresör ve ısı değiştiricileri içlerinde sürekli akış gerçekleşen açık sistemlerdir.

Sıcaklığının  $T_0$  ve basıncının  $P_0$  olduğu bir çevre ile ısı alışverişinde bulunan bir sistemin

1. Ve 2. Kanun denklemleri aşağıdaki gibidir [1]:

1. kanun:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left( h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) - \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (5.69)$$

2. kanun:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta \dot{s}_\zeta - \sum \dot{m}_g \dot{s}_g + \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_0} \quad (5.70)$$

$\dot{Q}_{\text{çevre}} = -\dot{Q}$  olduğundan bu iki denklemi ortak çözersek:

$$\begin{aligned} \dot{W} = \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\zeta \left( h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta - T_0 s_\zeta \right) \\ - T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \end{aligned} \quad (5.80)$$

Burada bulunan  $\dot{W}$  gerçek iştir. Ve aynı zamanda yararlı işe eşittir. Sürekli akışlı sistemde sınırlar sabit olduğundan çevre işi mümkün değildir. Tersinir iş te toplam entropi üretimi sıfıra eşitlenerek bulunur [1].

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\zeta \left( h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta - T_0 s_\zeta \right) \quad (5.81)$$

Bir akışın kullanılabilirliği(ekserjisi)  $\psi$  ile gösterilir ve  $V_0$  ile  $z_0$  0 olarak alınırlarsa:

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (5.82)$$

olarak elde edilir [1].

Tersinir iş te:

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta \quad (5.83)$$

olarak elde edilir [1].

Açık sistemde birim zamandaki tersinmezlik ise tersinir iş ile yararlı iş arasındaki farka eşittir[1]:

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (5.84)$$

Eğer sürekli akışlı açık sistemle çevresindeki  $T_R$  sıcaklığındaki ısı deposuyla  $\dot{Q}_R$  miktarında ısı alışverişinde bulunuyorsa, tersinir iş bağıntısı :

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\zeta \psi_\zeta - \dot{Q}_R \left(1 - \frac{T_0}{T_R}\right) \quad (5.85)$$

Sürekli akışlı açık sistemlerin ikinci kanun verimi  $\eta_{II}$  = elde edilen ekserji/ sağlanan ekserji ifadesinden elde edilir [1]. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilirse

$$\eta_{II,türbin} = \frac{w}{w_{tr}} = \frac{h_1 - h_2}{\psi_1 - \psi_2} \quad veya \quad \eta_{II,türbin} = \frac{T_0 \dot{S}_{üretim}}{\psi_1 - \psi_2} \quad (5.86)$$

$$\dot{S}_{üretim} = s_2 - s_1 \quad (5.87)$$

Kompresör için:

$$\eta_{II,komp} = \frac{w_{tr}}{w} = \frac{\psi_2 - \psi_1}{h_2 - h_1} \quad veya \quad \eta_{II,komp} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{üretim}}{h_2 - h_1} \quad (5.88)$$

$$\dot{S}_{üretim} = s_2 - s_1 \quad (5.89)$$

Isı değiştirici için ise:

$$\eta_{II,ID} = \frac{\dot{m}_{soğuk}(\psi_4 - \psi_3)}{\dot{m}_{sıcak}(\psi_1 - \psi_2)} \quad veya \quad \eta_{II,ID} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{üretim}}{\dot{m}_{sıcak}(\psi_1 - \psi_2)} \quad (5.90)$$

olarak hesaplamalarda kullanılabilir [1].

### MALİYET HESAPLAMALARI

Bu bölümde Bahri ŞAHİN' in Mühendislik Ekonomisi adlı kitabından faydalanılmıştır.

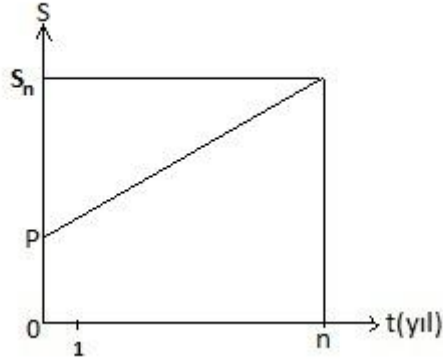
#### 6.1 Faiz Hesapları

Kişiler ve kuruluşlar, parasal tasarruflarının zaman içindeki değer kaybını önlemek için, hatta değerini artırmak için çeşitli ekonomik faaliyetlerde bulunurlar. Bu faaliyetlerden birisi de sahip olunan paranın başkasına bir kira karşılığında kullandırılması yani borç verilmesidir. Önceden kararlaştırılmış olan bu kiraya "Faiz" denir [4].

Faiz genel olarak "Basit faiz" ve "bileşik faiz" olarak ikiye ayrılır. Ancak pratikte kullanılan faiz hesapları bileşik faiz hesabına dayanmaktadır. Faiz hesaplarını denklemlerle ifade edecek olursak, Belirli miktar paranın bugünkü değeri için (P) ile n yıl sonraki değeri ( $S_n$ ) arasındaki ilişki [4],

$$S_n = P + I_n \quad (6.1)$$

$I_n$  n yılı sonundaki paranın değerindeki artışı veya biriken faiz miktarını göstermektedir.  $I_n$ ; P, n ve yıllık faiz oranı  $i$  'nin fonksiyonudur.  $I_n$  Hesabının büyüklüğünde iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşımda zamana göre lineer bir artış göstermektedir [4]. (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 Paranın faiz ile n yılsonunda kazandığı değer

Şekil 6.1' e baktığımızda yıllık artış miktarı  $P \times i$  kadardır ve n yıl sonraki artış miktarı

$$I_n = P \times i \times n \quad (6.2)$$

Ve n yılın sonundaki ulaşılan parasal değer,

$$S_n = P(1 + ni) \quad (6.3)$$

Şeklinde ifade edilir ve bu yaklaşım basit faiz olarak ifade edilir [4].

İkinci yaklaşımda, yıllık artışlar veya yıllık faiz, orijinal paranın üzerine eklenir ve bir yıl sonraki yıl için faiz hesabına esas orijinal para ile birlikte faiz miktarı da artacaktır ve bu artış, göz önüne alınan n periyodu boyunca devam edecektir. Örneğin, bugünkü değeri P olan bir paranın yıllık i faiz oranı ile kiraya verildiğini veya yıllık geri dönüş oranı i olan bir ticari faaliyette kullanıldığını düşünelim. İlk yılın sonunda faiz ve ya kar  $P \times i$ ' dir. Ve orijinal yatırım P'den  $P(1+i)$ ' ye yükselir. Bu toplam ikinci yılın sonundaki faiz ve ya kar olarak getirisi  $P(1+i)i$  ve orijinal miktar  $P(1+i)^2$  değerindedir. Bu işlem n yılsonunda toplam para,

$$S_n = P(1 + i)^n \quad (6.4)$$

Ve n yılın sonundaki parasal artış(faiz veya kar),

$$I_n = P[(1 + i)^n - 1] \quad (6.5)$$

Şeklinde ifade edilir ve bileşik faiz olarak adlandırılır [4].

### 6.1.1 Nominal Ve Efektif Faiz Oranı

Genellikle banka işlemlerinde faiz oranı yıllık olarak verilmekte ve Nominal yıllık faiz oranı olarak adlandırılmaktadır. Ancak uygulamada 6 aylık, 3 aylık, aylık, haftalık ve günlük olabilmektedir. Bu durumda bugünkü değeri P olan paranın n yıl sonraki değeri,

$$S_n = P\left(1 + \frac{i}{m}\right)^{mn} \quad (6.6)$$

ifadesi ile hesaplanır [4]. Burada i yıllık nominal faiz ve m de 1 yıl içindeki ödeme sayısı ya da yıllık faiz periyodudur. Bununla birlikte yıllık efektif faiz oranı dediğimiz yıllık toplam faiz oranı denklemi de aşağıdaki gibidir [4],

$$i_{ef} = \left(1 + \frac{i}{m}\right)^m - 1 \quad (6.7)$$

n yılın sonundaki paranın değeri de,

$$S_n = P i_{ef}^n \quad (6.8)$$

## 6.2 Farklı Para Akış Profillerine Göre Paranın Şimdiki ve Gelecek Değeri Arasındaki Bağlılıklar

Ekonomik faaliyetleri para akışları farklı zamanlarda olduğundan alternatif yatırımların değerlendirilmesi ve en iyisinin seçilmesi için zamana yayılmış para akışlarının referans olarak seçilen zamandaki değerinin bilinmesi gerekir. Bu nedenle bileşik faiz yaklaşımıyla değişik para akış profillerine göre paranın şimdiki ve gelecek değeri arasındaki bağlantılar özetlenecektir [4].

### 6.2.1 Tek Bir Ödeme Durumu

Bugünkü Değeri P olan paranın n yılı sonraki değeri

$$S_n = P(1 + i)^n \quad (6.9)$$

Denklemi ile verilmiştir. Denklemdeki  $(1 + i)^n$  büyüklüğüne tek ödeme gelecek değer faktörü adı verilir [4].

Gelecekteki bir ödemenin ( $S_n$ ) bugünkü değeri de (P) ,

$$P = S_n(1 + i)^{-n} \quad (6.10)$$

Şeklinde yazılabilir.  $(1 + i)^{-n}$  ise tek ödeme şimdiki değer faktörüdür [4].

Faiz gerçekleşme periyodu 1 yıldan az ise şimdiki parayı gelecekteki değeri,

$$S_n = P \left(1 + \frac{i}{m}\right)^{mn} \quad (6.11)$$

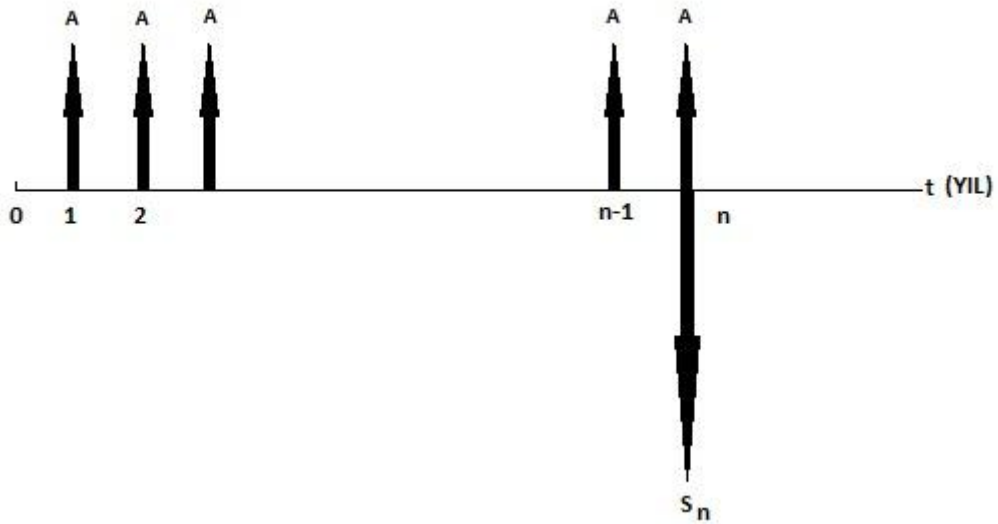
Gelecekteki paranın şimdiki değeri de,

$$P = S_n \left(1 + \frac{i}{m}\right)^{-mn} \quad (6.12)$$

şeklinde ifade edilir [4].

### 6.2.2 Düzenli ve Periyodik Ödemeler Serisinin Gelecek Değeri

Düzenli ödemelerde her yıl boyunca yapılan eşit  $A$  ödemelerinin  $n$  yıl boyunca yapıldığı göz önüne alınırsa (Şekil 6.2)



Şekil 6.2 Düzenli ve periyodik ödemeler serisinin gelecek değerinin şematik gösterimi

Bu ödemelerin  $n$  yılsonundaki toplamı  $S_n$  her bir dönemin bileşik faizine hesaplanarak  $n$ . yıl sonundaki değerler toplamı olacaktır ve,

$$S_n = \sum_{t=1}^n A(1 + i)^{n-t} \quad (6.13a)$$

veya

$$S_n = A \left[ \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right] \quad (6.13b)$$

şeklinde ifade edilmektedir [4]. Denklemdeki  $\left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$  ifadesine düzenli seri gelecek değer faktörü adı verilir [4].

### 6.2.3 Düzenli ve Periyodik Ödemeler Serisini Şimdiki Değeri

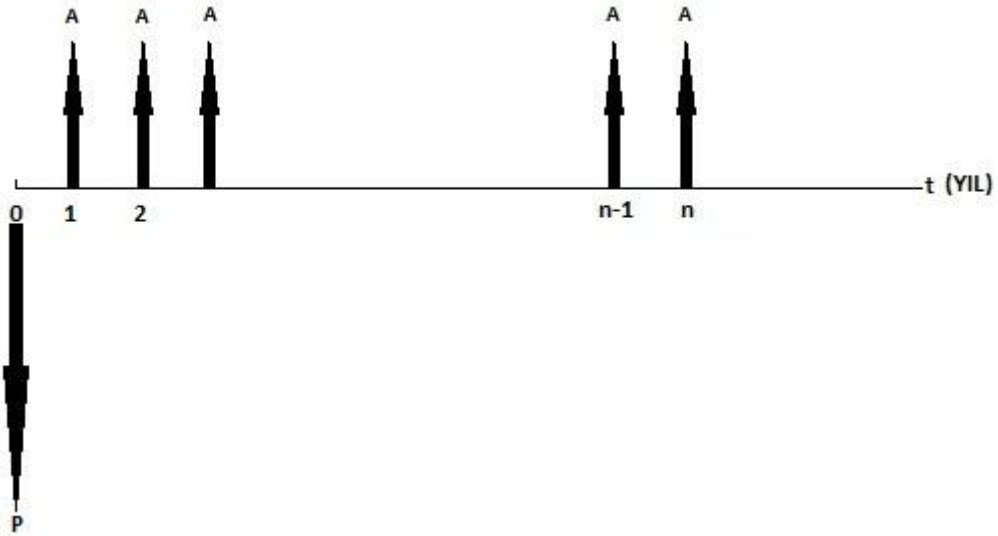
Şekil 6.3' den görüldüğü gibi n yıllık bir süre boyunca, her yılın sonunda yapılan düzenli A ödemelerinin şimdiki değeri P,

$$P = \sum_{t=1}^n A(1+i)^{-t} \quad (6.14)$$

$$P = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (6.15)$$

her bir A ödemesini şimdiki değerlerinin toplamı olarak elde edilir [4].

Denklemdeki  $\left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$  büyüklüğüne düzenli seri şimdiki değer faktörü adı verilir [4].



Şekil 6.3 Düzenli ve periyodik ödemeler serisinin şimdiki değerinin şematik gösterimi

Bugünkü bir P yatırımın değerini veren yıllık düzenli ser kıymeti A,

$$A = P \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (6.16)$$

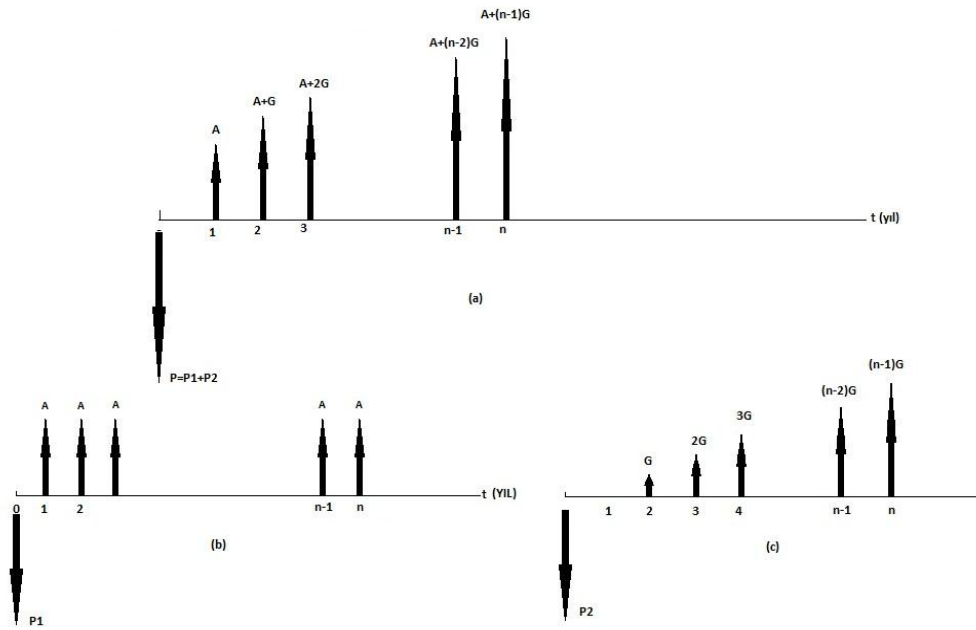
şeklinde ifade edilir[4].

Denklemdeki  $\left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$  amortisman katsayısı olarak ifade edilir [4].

### 6.2.4 Artan Ödemeler Serisinin Şimdiki Değeri

İşletmelerde bazı ödemeler veya masraflar (enerji, işletme ve bakım masrafı, vs.) enflasyon ve ekipmanların yıpranması nedeni ile yıldan yıla artış göstermektedir. Artan Bu ödemeler serisinin şimdiki değerinin hesaplanması işletmelerin ekonomik değerlendirmesinde önemli hale gelmektedir [4].

Yıllık ödemeler veya masraflar lineer artış gösteriyorsa yani yıllık artış miktarları sabitse Gradient Ödeme Serisi adı verilir. Şekil 6.4(a)' da görülen bir ödeme sistemi ele aldığımızda, şimdiki değer Şekil 6.4(b) ve Şekil 6.4(c) nin toplamının şimdiki değerinden elde edilir [4].



Şekil 6.4 Artan ödemeler serisinin şimdiki değerinin şematik olarak gösterimi

$$P = \sum_{t=1}^n G(t-1)(1+i)^{-t} \quad (6.17)$$

veya

$$P = G \left\{ \frac{1}{i} \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n} \right] \right\} \quad (6.18)$$

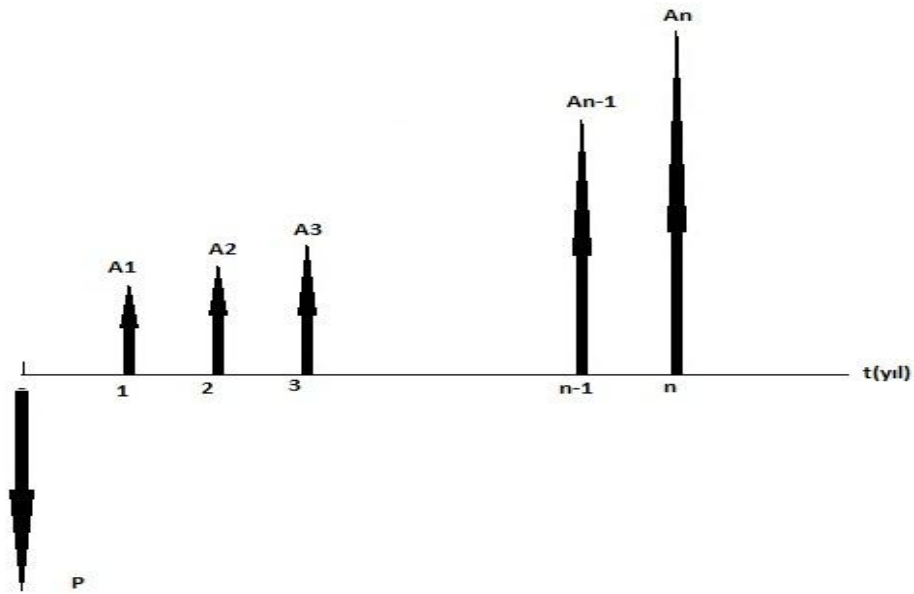
şeklinde elde edilir [4]. Denklemdaki  $\left\{ \frac{1}{i} \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n} \right] \right\}$  büyüklüğüne Gradient seri şimdiki değer faktörü denir [4].

Yıllık ödemeler ve ya masraflar yıldan yıla sabit bir yüzde ile artıyorsa Şekil 6.5' de görülen geometrik ödeme oluşmaktadır [4].

Ödemelerdeki yıllık artış yüzdesi  $k$  ile gösterilirse, herhangi bir  $t$  yılına ait ödeme miktarı,

$$A_t = A_1(1 + k)^{t-1} \quad (6.19)$$

ifadesi ile bulunur [4].



Şekil 6.5 Geometrik artan ödemeler serisinin şimdiki değerinin şematik olarak gösterimi Geometrik ödemeler serisini şimdiki değeri,

$$P = \sum_{t=1}^n A_1(1 + k)^{t-1}(1 + i)^{-t} \quad (6.20)$$

veya

$$P = \begin{cases} \frac{A_1[1 - (1 + k)^n(1 + i)^{-n}]}{i - k} & i \neq k \\ \frac{nA_1}{1 + i} & i = k \end{cases} \quad (6.21)$$

şeklinde elde edilir [4].

Belirtilen ödemeler ile ilgili işletmeye göre değişik ödeme planları oluşturulabilir. [4]

### 6.3 Yatırımların Ekonomik Değerini Ölçme Metodu

Yatırımların ekonomik değerinin ölçümü ve diğer yatırımlarla ekonomik açıdan karşılaştırılması için birçok metodu kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır;

1. Şimdiki değer metodu
2. Yıllık değer metodu
3. Gelecek değer metodu
4. Geri ödeme oranı metodu
5. Kar/ Yatırım oranı metodu.

Bu metotların hepsi eşdeğer metodlardır [4].

#### 6.3.1 Şimdiki Değer Metodu

Mühendislik proje ve yatırımların ekonomik karşılaştırmasında en çok kullanılan metoddur. Bu metodla, gelecek zaman içindeki tüm para akışları şimdiki değere getirilir ve alternatif yatırımların şimdiki değerleri karşılaştırılarak en ekonomik olan seçilir. Yatırımların şimdiki değer hesabı için:

$$C_{PW} = \sum_{t=0}^n C(t) (1 + i)^{-t} \quad (6.22)$$

Burada  $C(t)$  t periyodu sonundaki ödemeyi veya masrafları, n planlanan ödeme süresini, i ise minimum geri dönüş oranı, minimum kar oranı ya da iskonto oranı olarak yorumlanması gereken geçerli faiz oranını göstermektedir [4].  $C_{PW}$  ise minimum olan alternatif değerdir [4].  $C_{PW}$  değeri minimum olan alternatif seçilmelidir [4]. Bu hesabın yapılabilmesi için masrafların yıllara göre dağılımı bilinmelidir [4].

Alternatif yatırımların değerlendirilmesinde ve mukayesesinde yıllar itibari ile elde edilen net karların şimdiki değeri de bir kriterdir [4]. Net karların şimdiki değerinin hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılmaktadır [4]:

$$N_{PW} = \sum_{t=0}^n [B(t) - C(t)] (1 + i)^{-t} \quad (6.23)$$

Burada  $B(t)$  ve  $C(t)$  sırasıyla karları ve harcamaları göstermektedir. Bu durumda  $N_{PW}$  elde edilen net karı göstermektedir. Tabi ki yatırımlar karşılaştırılırken net karı fazla olan yatırım tercih edilmelidir [4].

### 6.3.2 Yıllık Değer Metodu

Bu metodla zaman için olan tüm para akışları eşdeğer ve düzenli yıllık para akışlarına dönüştürülerek para akışları yıllık değer açısından karşılaştırılır. Yapılan maliyetler açısından karşılaştırma yapılıyorsa yıllık değer maliyeti en düşük olan yatırım, karlar açısından karşılaştırma yapılıyorsa yıllık değer karı en yüksek olan yatırım tercih edilmelidir [4].

Yıllık eşdeğer maliyeti,

$$C_{AW} = \left[ \sum_{t=0}^n C(t) (1+i)^{-t} \right] \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (6.24)$$

şeklinde ifade edilir [4].

Yıllık eşdeğer net kar ise,

$$N_{AW} = \left[ \sum_{t=0}^n [B(t) - C(t)] (1+i)^{-t} \right] \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (6.25)$$

şeklinde ifade edilir [4].

Yıllık eşdeğer maliyeti ile şimdiki değer maliyeti eşdeğer metodlardır. [4]

### 6.3.3 Gelecek Değer Metodu

Gelecek değer metodunda tüm para akışları gelecekteki bir değere getirilerek yapılır. Söz konusu tarih genellikle yatırımın bitiş tarihidir. Bu metod yatırımların tarihleri birbirinden farklı ise pek kullanışlı olmamakla beraber diğer şimdiki önceki metodlarla eşdeğerdir [4].

Yatırımın gelecek değer maliyeti,

$$C_{AW} = \sum_{t=0}^n C(t) (1+i)^{n-t} \quad (6.26)$$

yatırımın gelecek değer net karı,

$$N_{FW} = \sum_{t=0}^n [B(t) - C(t)] (1 + i)^{n-t} \quad (6.27)$$

şeklinde ifade edilmektedir [4].

#### 6.3.4 Geri Ödeme Oranı Metodu

Geri ödeme oranı, net karın şimdiki değerini istenilen bir sürede sıfır yapan faiz oranı olarak tanımlanabilir,

$$\sum_{t=0}^n [B(t) - C(t)] (1 + r)^{-t} = 0 \quad (6.28)$$

şeklinde ifade edilir [4]. Burada r geri ödeme oranını gösterir.

Aynı amortisman süresi için hesaplanmış geri ödeme oranlarında daha büyük olan daha avantajlıdır. N yıllık bir süre içinde net karın şimdiki değeri sıfır oluyorsa tüm masraflar karşılanmış ve yatırım amorti edilmiş olur [4].

#### 6.3.5 Kazanç – Maliyet Oranı Metodu

Yatırımın ömrü boyunca, elde edilen kazancın şimdiki değeri, yatırım maliyeti de dahil olmak üzere yapılan tüm masrafların şimdiki değerine oranını belirleyen bu metod, özellikle kamu yatırım ve projelerinin ekonomik değerlendirmesinde ve karşılaştırmasında kullanılır [4].

$$BCR_1 = \frac{\sum_{t=0}^n B(t) (1 + i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C(t) (1 + i)^{-t}} \quad (6.29)$$

Ve

$$BCR_2 = \frac{\sum_{t=0}^n [B(t) - C(t)] (1 + i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C(t) (1 + i)^{-t}} \quad (6.30)$$

Yatırımların karşılaştırılmasında oranı büyük olan yatırım tercih edilir [4].

## 6.4 Enerji Maliyeti

Elektrikte üretim maliyeti ile müşteriye satış fiyatı arasında fark bulunmaktadır. Bu fark iletim ve dağıtım bedeli ve elde edilecek karı içermektedir [4]. Santrallerin kıyaslanmasında elektrik maliyetleri önemli bir kriterdir [4].

Elektrik enerjisi maliyeti üretim, taşıma ve dağıtım olmak üzere üç ana kısımda toplanmaktadır [4].

### 6.4.1 Enerji Üretim Maliyeti Hesabı

Elektrik enerjisi üretim maliyetini santral masrafları belirlemektedir. Bu masraflar; santral yeri masrafları, inşaat masrafları, yakıt masrafları, işletme ve bakım masrafları ve taşıma ve iletim masraflarıdır [4].

Amortisman için ayrılacak yıllık sabit miktar bilindiği takdirde, yıllık yakıt ile yıllık işletme ve bakım masraflarını bu miktara ekleyerek her yıl aynı elektriği üreten santral için yıllık toplam masrafların yıllık elektrik üretimine oranı,

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{C_T}{E} \quad (6.31)$$

şeklinde ifade edilir [4]. Bu denklemden  $C_k$  yıllık sabit yatırım masraflarını,  $C_m$  yıllık işletme ve bakım masraflarını,  $C_f$  yıllık yakıt masraflarını,  $E$  yıllık elektrik enerjisi üretimini göstermektedir [4].

Normalde santrallerde maliyet daha detaylı şekilde incelendiğinde inşaat 1 anda olmayıp yıllara yayılacak, işletme ve bakım ücretleri belirli bir artış gösterecek, yakıt fiyatı da yıllara göre değişiklik gösterecektir [4]. Bu da yapılan maliyet hesaplamalarını da zorlaştıracaktır [4]. Bu durumda enerji üretim maliyeti, şimdiki değer ve yıllık değer metodu kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır [4].

Santral inşaatının başlangıcından ömrünün sonuna kadar yapılan değişken masrafların, referans olarak kabul edilen santralin güç üretimine başladığı tarihteki değeri,

$$C_{PW} = \sum_{t=-L}^n C_T(t) (1+r)^{-t} \quad (6.32)$$

$C_T(t)$ , zamanla değişebilen yıllık toplam masrafları,  $r$  iskonto oranını,  $n$  santralin ömrünü,  $L$  inşaat süresini göstermektedir [4].

Denklemden işletmeye başlama tarihindeki ( $t=0$ ) değer yani şimdiki değer elde edilmiştir. Elde edilen  $C_{PW}$  değeri santralin ömrü boyunca eşdeğer ve düzenli yıllık masraf serisine,

$$C_{AW} = \frac{C_{PW}}{\sum_{t=0}^n (1+r)^{-t}} \quad (6.33)$$

şeklinde dönüştürülür [4]. Yukarıdaki iki denklemi bir araya getirirsek, eşdeğer ve düzenli yıllık enerji maliyeti

$$C_{AW} = \frac{\sum_{t=-L}^n C_T(t) (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n (1+r)^{-t}} \quad (6.34)$$

şeklinde elde edilmiş olur [4].

Santral her yıl yaklaşık aynı miktarda elektrik enerjisi üretiyorsa, eşdeğer ve düzenli yıllık birim enerji maliyeti,

$$g = \frac{\sum_{t=-L}^n C_T(t) (1+r)^{-t}}{E \sum_{t=0}^n (1+r)^{-t}} \quad (6.35)$$

şeklinde elde edilir [4].

Yıllık elektrik enerjisi zamanın fonksiyonu ise denklem,

$$g = \frac{\sum_{t=-L}^n C_T(t) (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n E(t) (1+r)^{-t}} \quad (6.37)$$

şekline gelir [4].

Santral inşaatının başlangıcından santral ömrünün sonuna kadar değişik tarihlerde yapılmış ve miktarları farklı olan masraflar söz konusu olduğunda yıllık elektrik enerjisi üretiminin sabit veya değişken olması durumuna göre yukarıdaki (6.35) ya da (6.36) denklemlerinden birisi kullanılarak elektrik enerji üretim maliyeti hesaplanır. Buna bir değere getirilmiş üretim maliyeti adı verilir [4].

#### 6.4.1.1 Yıllık Sermaye Masrafları

Elektrik enerjisi hesabında, santralin inşaatı süresince yapılan masraflar ve bu masrafların yıllara göre dağılımında kullanılan metodlar önemlidir [4].

##### 6.4.1.1.1 Sabit Yıllık Sermaye Maliyeti

Amortisman katsayısı kullanılarak sabit bir yıllık sermaye masrafı bulunabilir. Santralin inşaatı süresince, eskalasyon ve faiz yükleri de dahil olmak üzere toplam yatırım  $I_k$  ile gösterilirse üretime başlama tarihinden itibaren sabit yıllık sermaye maliyeti,

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (6.38)$$

olmaktadır [4].  $C_k$  sabit yıllık sermaye maliyetidir. Ancak  $I_k$  miktarının kredi şeklinde alındığı kabul edilirse her yıl yapılan ana para ödemesi ve o yıla ait faiz ödemesinin toplamı sabit yıllık sermaye maliyetine eşit olacaktır. Bu yüzden sabit yıllık sermaye maliyeti geri ödenmesi gereken sabit miktar olarak alınabilir [4].

$$C_k = b_t + f_t \quad (6.39)$$

ve

$$I_k = \sum_{t=1}^n b_t \quad (6.40)$$

olarak yazılabilir. Burada  $b_t$  anapara ödemesini  $f_t$  faiz ödemesini göstermektedir.

$$f_t = I_k i(1+i)^{t-1} - C_k[(1+i)^{t-1} - 1] \quad (6.41)$$

$$b_t = C_k(1+i)^{t-1} - I_k i(1+i)^{t-1} \quad (6.42)$$

Denklemleri ile herhangi bir yıla ait anapara ve faiz ödemesi hesaplanabilir [4].

##### 6.4.1.1.2 Lineer Azalan Yıllık Sermaye Maliyeti

Bu metodla hesaplanacak yıllık sermaye masrafı, santralin üretime başladığı tarihten itibaren toplam yatırım bedeli olan  $I_k$  nın santral ömrüne bölünerek elde edilecek sabit anapara ödemesi ile yıllık faiz miktarlarının toplamıdır [4]. Bu yüzden ödemeler sabit olarak azalacağından lineer bir azalma söz konusudur [4]. Bu sermaye maliyetine de lineer azalan yıllık sermaye maliyeti adı verilir [4]. Yıllık anapara ve yıllık faiz,

$$b_a = \frac{I_k}{n} \quad , \quad f_t = I_k \left[ \left( 1 - \frac{t-1}{n} \right) i \right] \quad (6.43)$$

şeklinde ifade edilir. Toplam yıllık ödeme ya da yıllık sermaye maliyeti zaman bağılı olarak,

$$C_k(t) = b_a + f_t = I_k \left[ \left( 1 - \frac{t-1}{n} \right) i + \frac{1}{n} \right] \quad (6.44)$$

ifade edilmektedir.  $1 \leq t \leq n$  aralığında herhangi bir t yılına ait yıllık ödeme hesaplanabilir [4].

#### 6.4.1.1.3 İnşaat Süresince Eskalasyon Yükü

Eskalasyon herhangi bir periyotta kullanılan maddenin fiyat artışıdır. İnşaat periyodu süresince kullanılan malzeme, teçhizat ve işçilik fiyatlarındaki artışlar eskalasyon olarak adlandırılmaktadır [4]. İnşaat süresince yapılan yatırım harcamaları zamana yayılacağından fiyatlar eskalasyonla değişeceğinden miktarlar direk inşaat bedelinden yüksek olacaktır [4]. Yıllık eskalasyon oranı (e) ve harcama modeliyle herhangi bir yıla ait eskalasyon yükü bulunabilir [4].

Direkt inşaat bedeli  $I_d$  ve inşaat süresi boyunca yıllık harcama yüzdesi  $y(t)$  ile gösterilirse, herhangi bir t yıla ait eskalasyonsuz harcama miktarı,

$$Y(t) = I_d y(t) \quad (6.45)$$

eskale edilmiş yıllık harcama miktarı,

$$Y_e(t) = Y(t)(1 + t)^t \quad (6.46)$$

ve eskalasyon yükü,

$$Y_e(t) - Y(t) = Y(t)[(1 + t)^t - 1] \quad (6.47)$$

ifadeleri ile hesaplanabilir [4].

#### 6.4.1.1.4 İnşaat Süresince Faiz Yükü

İnşaat süresi boyunca yapılan yıllık  $Y_e(t)$  harcama miktarını kredi olarak aldığımızı ele alalım. İnşaat periyodu sonunda alınan kredinin faizinin de ödenmesi gerekecektir [4].

$$T(t) = Y_e(t)[(1 + i)^{L+1-t}] \quad (6.48)$$

Herhangi bir t yılında kullanılan kredinin inşaat süresi sonunda faizi ile birlikte ödenmesi gereken borçtur [4]. L inşaat süresi, (L+1-t) faiz periyodudur. Kredi yılın sonunda kullanılıyorsa (L-t) faiz periyodu olacaktır [4].

Eskalasyon ve faiz yükleri de dahil olmak üzere inşaat bitimindeki toplam yatırım bedeli

$$I_k = \sum_{t=1}^L T(t) \quad (6.49)$$

yatırımın şimdiki (inşaata başlama tarihindeki) bedeli ise iskonto oranı kullanılarak,

$$I_p = I_k(1 + r)^{-L} \quad (6.50)$$

şeklinde ifade edilir [4]. Eğer geri ödeme oranı faize eşit ise hesaplanan maliyet paranın o yıl ki değeridir [4]. Enflasyon oranı (j) faktörünü hesaba kattığımızda reel geri ödeme oranı ile ilgili aşağıdaki bağıntı elde edilir [4].

$$r_g = \frac{r - j}{1 + j} \quad (6.51)$$

Reel geri ödeme oranı hesabın yapıldığı yıla ait değerini gösterir. Paranın zaman içindeki değeri kullanılarak başka yıla götürülemez [4].

#### 6.4.1.2 İşletme ve Bakım Maliyeti

İşçilik, malzeme tedarik ve depolama, tamir ve bakım, sigorta v.b. masrafları kapsar. Bu masraflar iki kısım halinde ele alınabilir [4].

-  $\$/kW_e\text{yıl}$  olarak ifade edilen ve kullanma süresi veya şebeke yük faktörüne bağlı olmayan, yıllık sabit masraflar

-  $\text{mills}/kW_e\text{h}$  olarak ifade edilen ve üretilen enerji ile orantılı yıllık değişken masraflar.

Referans tarihi işletmeye geçiş tarih olduğunda, değişken yıllık bakım masrafları  $C_m(t)$

Referans tarihe getirilir. N yıllık santral ömrü için şimdiki değer bakım maliyeti,

$$C_{PW} = \sum_{t=0}^n C_m(t)(1 + r)^{-t} \quad (6.52)$$

olmaktadır. Birim enerji başına bakım maliyeti,

$$g_m = \frac{\sum_{t=0}^n C_m(t)(1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n E(t)(1+r)^{-t}} \quad (6.53)$$

ile ifade edilir [4].

#### 6.4.1.3 Yakıt Masrafları

Fosil yakıtlar için birim enerji başına yakıt maliyeti,

$$c_f = \frac{Fq}{H_u} \quad (6.54)$$

Şeklinde ifade edilir (4). F yakıt fiyatını (\$/ton veya \$/Nm<sup>3</sup>...), q santralin özgül ısı sarfiyatını (kJ/kW<sub>e</sub>h veya Kcal/ kW<sub>e</sub>h) göstermektedir [4]. H<sub>u</sub> ise yakıtın alt ısı değerini (kJ/Nm<sup>3</sup>, kJ/kg veya kcal/kg, kcal/Nm<sup>3</sup>) göstermektedir [4].

Santralin termik verimi,

$$q = \frac{3600}{\eta_T} \frac{kJ}{kW_e h} \quad (6.55)$$

veya

$$q = \frac{860}{\eta_T} \frac{kcal}{kW_e h} \quad (6.56)$$

ifadesi ile hesaplanır (4).

Değişken yakıt fiyatı söz konusu ise değişken yıllık yakıt maliyeti  $C_f(t)$  için bir değere getirilmiş birim enerji maliyeti aşağıdaki gibidir [4].

$$g_f = \frac{\sum_{t=0}^n C_f(t)(1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n E(t)(1+r)^{-t}} \quad (6.57)$$

---

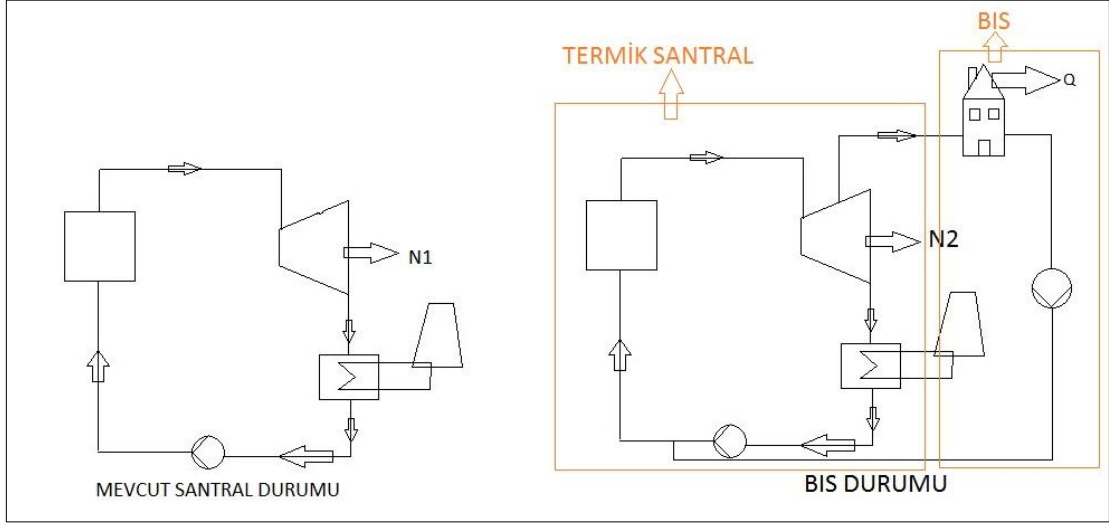
**SANTRALLERİN KOJENERASYONA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bir termik santralde değişik amaçlar için, kondenserde atılan ısının çoğunun nasıl geri kazanılabileceği aynı zamanda türbinin herhangi bir yerinden buhar çekilir ise, çekilen bu buharın ne kadar ısı enerjisi sağlayacağı ve sağlanan bu ısıdan dolayı ne kadar elektrik enerjisi azalması yaşanacağı incelenmiş ve kazanılan ısı miktarının azalan elektrik enerjisine oranına  $COP_{BI}$  adı verilmiştir.  $COP_{BI}$  Şekil 7.1' deki değerler kullanılarak aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$COP = \frac{\text{Bölge ısıtmasında kullanılan ısı enerjisi}}{\text{Buhar türbininden azalan elektrik enerjisi}} = \frac{Q_{Kazanılan}}{\Delta N_{Azalan}} \\ = \frac{Q}{N_1 - N_2} \quad (7.1)$$

Bu denklemle öncelikle değişik basınçlarda buhar çekilerek  $COP'$  ler incelenmiş buna göre de en yüksek  $COP_{BI}$  belirlenmiştir. Daha sonra kütleli debinin etkisi incelenerek  $COP_{BI}$  karşılaştırması yapılmıştır.

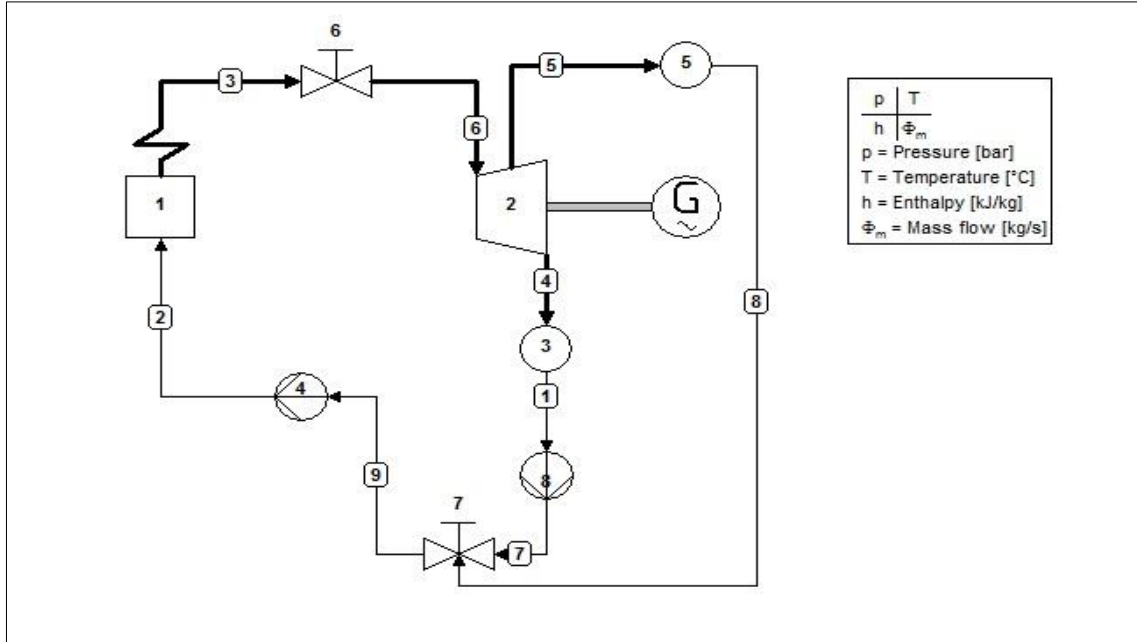
Bu açıklamalardan sonra  $COP$  karşılaştırması için Rankine çevriminde  $COP$  incelemesi yapıldı. Bu incelemeler öncelikle sabit debide değişik basınçlarda buhar çekilmesi ile  $COP$  değişimi incelendi. Daha sonra basınç sabit tutularak çekilen buhar debisine göre  $COP$  incelemesi yapıldı. Bununla birlikte verimi arttırılmış (ara kızdırmalı Rankine, v.b.) sistemler de incelendi. Bu tezde ise daha verimli sistemler yerine basit kombine çevrim santrali ele alınarak hesaplamalar yapıldı.



Şekil 7.1 COP hesaplama için şematik gösterim

### 7.1 Rankine Çevriminde COP İncelemesi

Öncelikle basit Rankine çevrimi incelendi. Bu çevrimi incelemekteki amaç buhar alma durumunda COP için basınç ve kütle miktarlarının optimum değerlerini bulmaktır.



Şekil 7.2 Ara Buhar almali basit Rankine çevriminin CT programında görünümü

Şekil 8.1' den görüleceği gibi basit bir Rankine çevrimi modellenmiştir. Bu çevrimde kondenser yerine ısı yutucu (heat sink) konulmuştur. Vanalar ise sistem içindeki kütle debisini belirlemek için konulmuşlardır. Çevrime yaklaşık olarak 150 MW' lık bir enerji girişi olmaktadır. Çevrimde kullanılan değerler aşağıdaki Çizelge 7.1' de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Sisteme giriş değerleri çizelge halinde

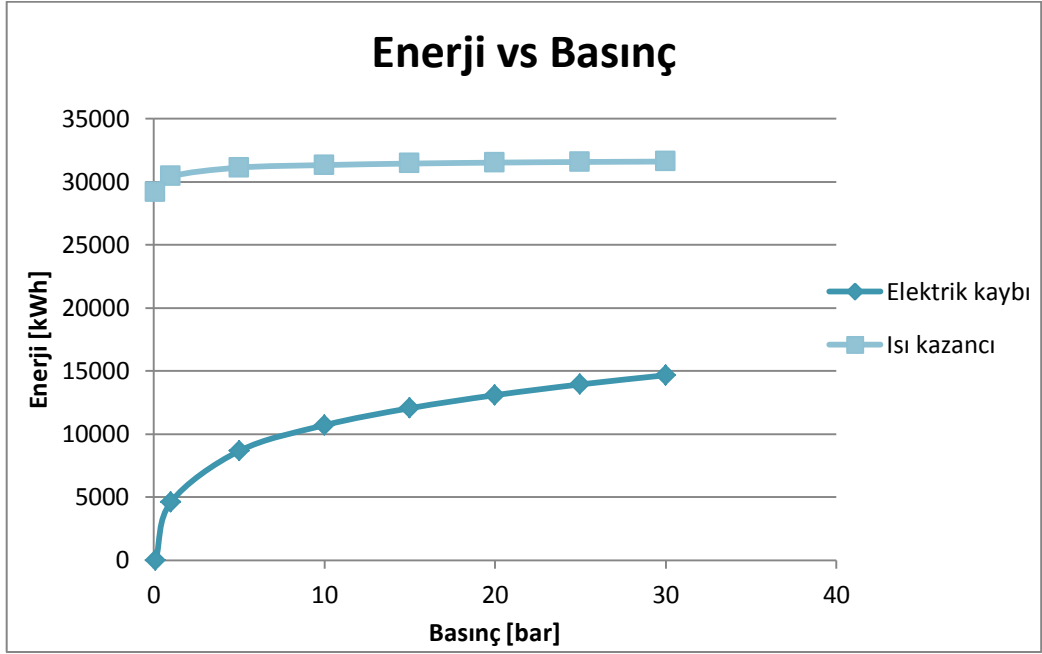
	Pin [bar]	Pout	Tin	Tout	Kütle debisi	$\eta$ izentropik verim[%]	Delt	Xin	Xout
		[bar]	[C°]	[C°]	[kg/s]		[C°]	[%]	[%]
KAZAN	30	30		350	55	1			
TÜRBİN						1			
KONDENSER(3)	0,1013	0,1013					0		
POMPA(4)						1			
POMPA(8)		30				1			
ŞEHİR ISITMA(5)	Değiş.	Değiş.							0

Yukarıda verilen giriş değerleri ile ilgili olarak şehir ısıtmasına gerekli buhar önce 30 bar ile çekilerek sonuçlar hesaplanmış, daha sonra basınç belirli aralıklarla azaltılarak buhar alma gerçekleşmiştir. Sistemdeki toplam buhar debisi 55 kg/s 'dir. Buna bağlı olarak sonuçlar aşağıdaki Çizelge 7.2' de ve Şekil 7.3'te gösterilmektedir.

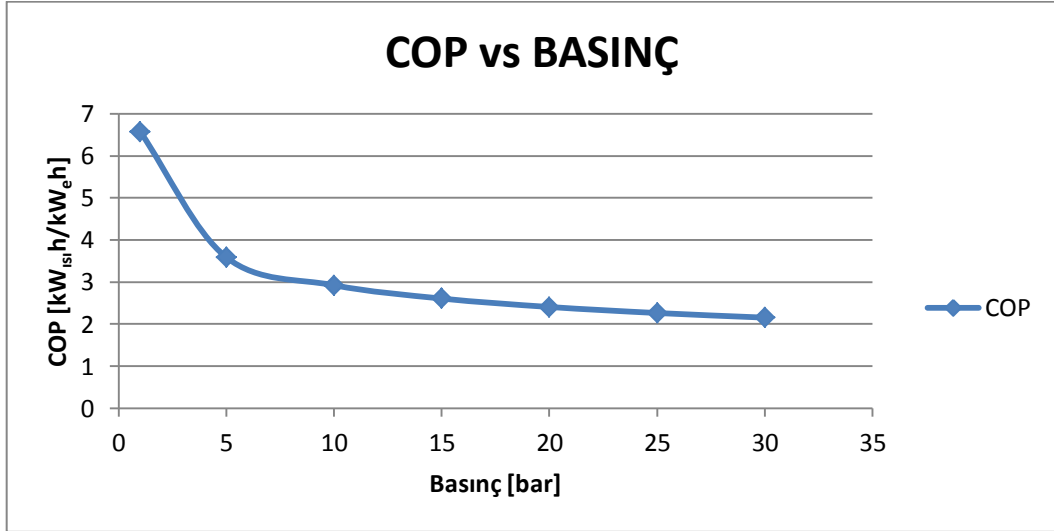
### 7.1.1 Buhar Alma Basıncına Göre COP<sub>BI</sub>

Çizelge 7.2 Ara buhar almalı basit çevrim de sonuç ve COP hesaplamaları

Qin (Kazan)	Tin (Kazan)	Qatılan (kon)	Qatılan (B.I)	Tin (B.I)	Tout (B.I)	E(Elek)	Pin (B.I)	E (kayıb)	Q (kazanç)	Q/E
148422,33	99,1	77790,05	31615,33	350	233,86	39137,7	30	14676,59	31615,33	2,154133215
149109,77	96,13	77790,05	31583,21	324,31	223,96	39865,63	25	13948,66	31583,21	2,264246888
149901,92	92,7	77790,05	31532,61	294,22	212,38	40716,66	20	13097,63	31532,61	2,407505022
150852,42	88,58	77790,05	31455,85	257,57	198,3	41752	15	12062,29	31455,85	2,60778426
152075,08	83,28	77790,05	31338,13	209,87	179,89	43100,23	10	10714,06	31338,13	2,924953752
153905,11	75,34	77790,05	31136,51	151,84	151,84	45139,31	5	8674,98	31136,51	3,58923133
157241,3	60,83	77790,05	30430,23	99,61	99,61	49186,82	1	4627,47	30430,23	6,575997251
160609,56	46,16	77790,05	29171,27	46,06	46,06	53814,29	0,1013	0	29171,27	sonsuz



Şekil 7.3 Isı kazancı ve elektrik kaybının basınca göre grafikleri



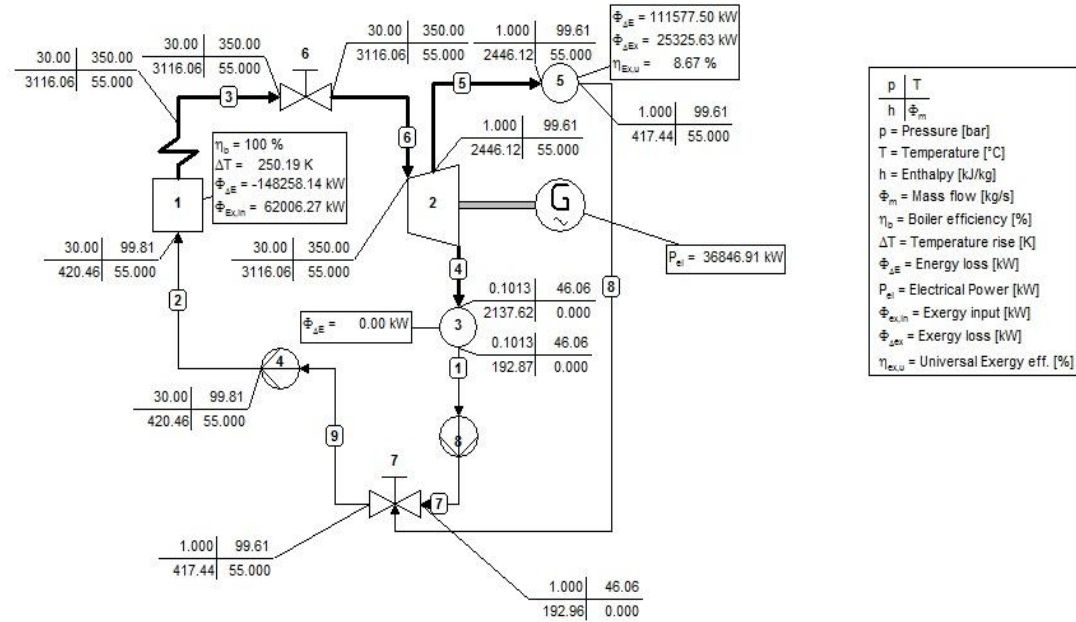
Şekil 7.4 COP nin buhar alma basıncına göre grafiği

Şekil 7.4'ten basit Rankine çevriminde COP'nin basınca göre değişimi görülmektedir. Bu grafikten buhar alma basıncı arttıkça COP'nin düştüğü görülmektedir. Buna göre daha düşük basınçlarda buhar çekmek COP açısından daha faydalı olacaktır. Böylelikle Şekil 7.2'ye bakıldığında daha düşük basınçta buhar çekilirse azalan elektrik gücü daha az bunun yanında kazanılan ısı enerjisi de yüksek olacaktır.

## 7.1.2 Çekilen Buhar Miktarına Göre COP

Bu bölümde santralden çekilen ara buhar basıncı sabit tutulup çekilen buhar miktarına göre COP değişimini incelenecektir. Buhar basıncı 1 bar olarak alındığında sistemdeki toplam debi 55 kg/s dir. Öncelikle hiç buhar çekilmediği durum göz önüne alındı daha sonra debi arttırılarak sonuçlar incelendi.

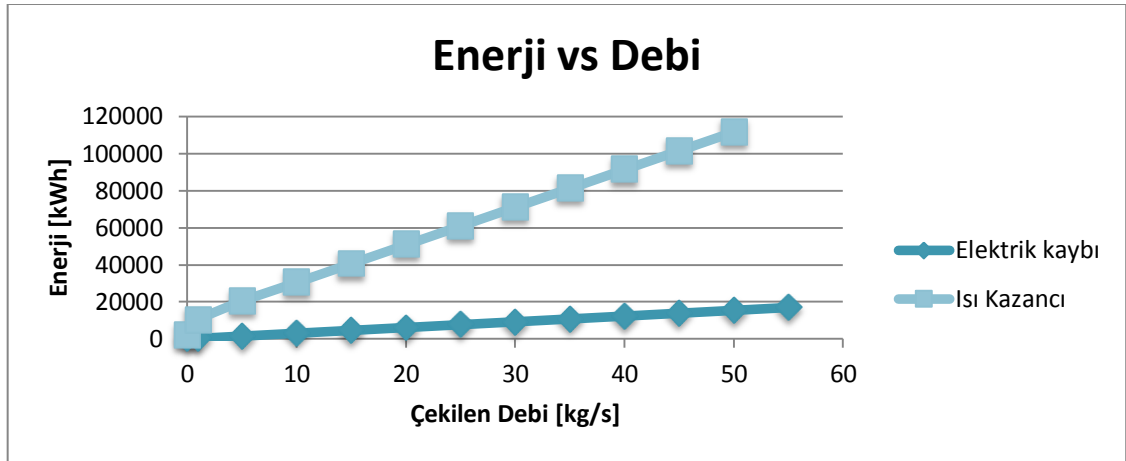
Şekil 7.6'ya bakıldığında elektrik enerjisinin eğimi ısı kazancının eğimine göre daha azdır. Her iki eğri de lineerdir. Az miktarda elektrik gücü azalması varken ona oranla daha fazla miktarda ısı kazancı vardır. Bu ısı kazancına bakıldığında kondenserde kaybedilen ısının da kazanıldığı görülmektedir. Çünkü kondenserde yoğuşması gereken miktardaki buhar bölgesel ısıtmada kullanılmıştır. Şekil 7.7'ye bakıldığında, debinin arttırılması ile COP hissedilmeyecek bir şekilde düşecektir. Bu düşüş çok az olduğundan nerdeyse çekilen her buhar debisi için COP aynı kalacaktır. Bundan dolayı bu grafikte COP değeri ne yapılması gerektiğini göstermeyecektir. Bu durumda ne kadar elektrik gücüne ve ne kadar ısı enerjisine ihtiyaç var bunu göz önüne alarak o debide buhar çekilmelidir. Tabi ki burada debiye göre enerji azalması artarken ısı kazanımı çok fazla olacaktır. En fazla buhar debisi çekiminde en yüksek ısı kazancı sağlanacaktır.



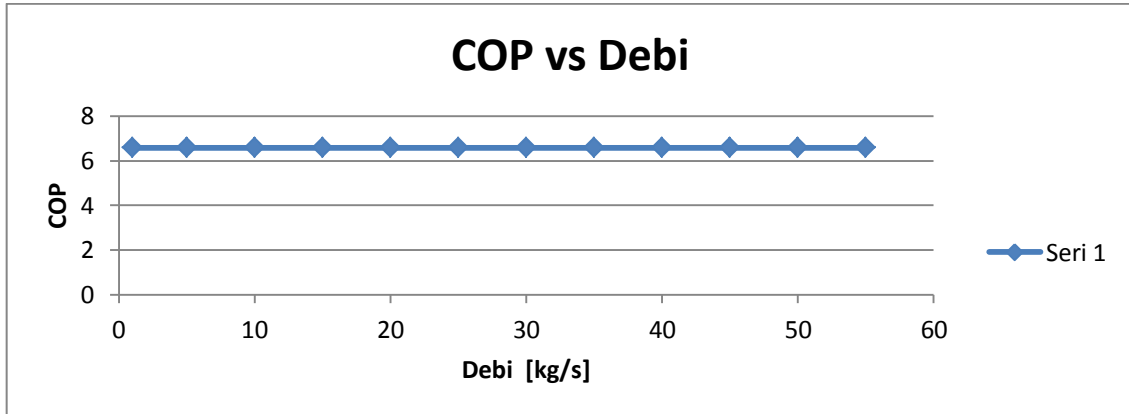
Şekil 7.5 Ara buhar almalı basit Rankine çevriminde COP (kütle)

Çizelge 7.3 Kütlesel debiye göre ara buhar almalı Rankine çevriminde hesaplamalar ve COP

Q <sub>in</sub> (Kazan)	T <sub>in</sub> (Kazan)	Q <sub>atılan</sub> (kon)	Q <sub>atılan</sub> (B.I)	T <sub>in</sub> (B.I)	T <sub>out</sub> (B.I)	E (Elek)	M (B.I)	E (kayıb)	Q (kazanç)	Q/E
160609,5	46,16	106961,33	0	0	0	53814,29	0	0	0	-
160385,0	47,14	105016,58	2028,68	99,61	99,61	53505,79	1	308,5	2028,68	6,5759481
159486,8	51,05	97237,57	10143,41	99,61	99,61	52271,8	5	1542,49	10143,41	6,5759973
158364,0	55,94	87513,87	20286,82	99,61	99,61	50729,31	10	3084,98	20286,82	6,5759973
157241,3	60,83	77790,05	30430,23	99,61	99,61	49186,82	15	4627,47	30430,23	6,5759973
156118,4	65,72	68066,3	40573,64	99,61	99,61	47644,34	20	6169,95	40573,64	6,5760079

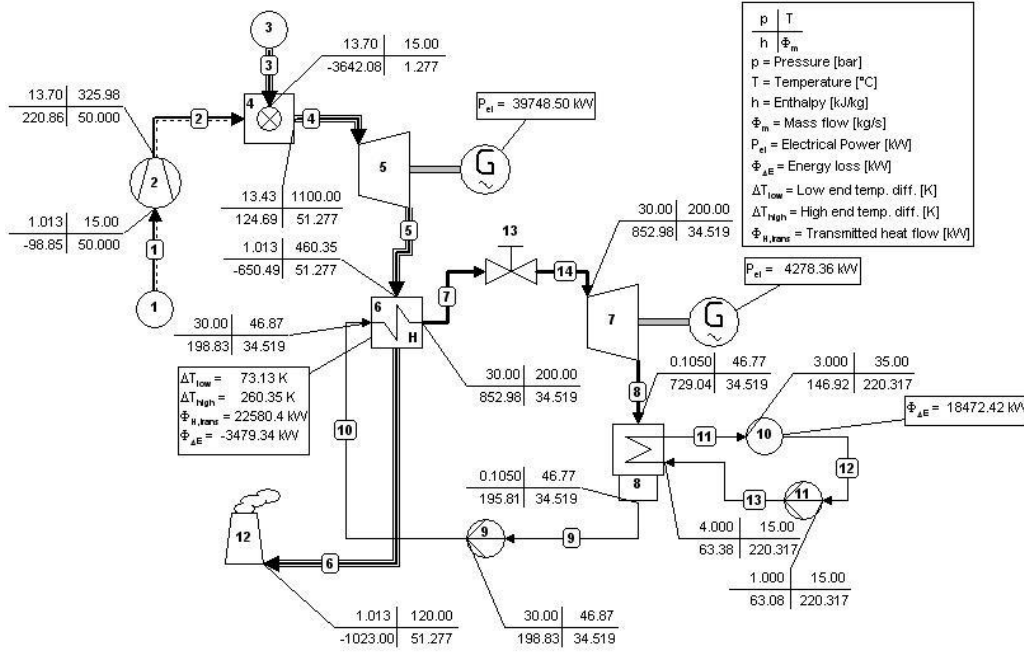


Şekil 7.6 Debiye göre elektrik kaybı ve ısı kazancı



Şekil 7.7 Debiye göre COP

## 7.2 Kombine Çevrim Santrali



Şekil 7.8 Kombine çevrim santrali

Burada yapılacak olan incelemede öncelikle gaz türbini ve buhar türbininden oluşan kombine çevrim santrali ele alınmıştır. Daha sonraki incelenecek olan sistem ise kombine çevrim santrali ile bölge ısıtmasıdır. Bu iki santralin incelenmesindeki amaç tezin de amacını oluşturmaktadır. Amaç iki farklı santralin termodinamik analizlerinin yapıldıktan sonra maliyet karşılaştırmalarının yapılarak bu santrallerin uygulanabilirliğini incelemektir. Buradaki sistemler birbirine yakın iki sistem olduğundan bu sistemlerden verim yönünden yüksek olan santraller için de aynı değerlendirmeler yapılabilir.

Bu iki farklı santraller ideal şartlarda kabul edilmişlerdir. Santrallerin ideal şartlarda kabul edilmesinin nedeni iki santralin de aynı şartlar altında çalışması ve aynı zamanda karşılaştırma yapılacağından şartların karşılaştırma sonuçlarına fazla bir etkisinin olamamasıdır. Çevre şartları ortalama sıcaklığı her iki santralde de 15 °C olarak alınmıştır. Santrallerdeki ekipman verimleri %100 kabul edilmiştir. Her iki santralde de gaz çevriminde yanma odasında yakılan yakıt miktarları eşit miktarda alınmıştır. Yine buhar çevrimlerinde dolaşan buhar debisi de eşit miktarda alınmıştır. Bölge ısıtması için oluşturulan sistemde ise buhar türbininden çekilen buhar debisi yaklaşık olarak 1300

hanenin ısıtılmasında kullanılabilir kadar ve düşük basınçta çekilmiştir. Düşük basınçta çekilmesinin nedeni ise  $COP_{BI}$ 'nin düşük basınçta daha yüksek olmasından kaynaklıdır. Maliyet hesaplamalarında ise her iki santralin 15'er yıllık ömürleri olduğu kabul edilmiştir. Birim elektrik başına olan maliyetler her iki santralde aynı alınarak birim ısı üretimi başına fiyat bulunmuştur.

Şekil 7.8' de basit bir kombine çevrim santrali bulunmaktadır. Öncelikle kompresör tarafından sıkıştırılan hava yanma odasına gelmekte ve burada yanma işlemi gerçekleştiğinden sonra oluşan gazlar gaz türbinine gelerek gaz türbinini tahrik eder ve bu sayede bir mekanik enerji üretimi gerçekleşir. Mekanik enerji ise jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik enerjisi elde edilir. Gaz türbininden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları atık ısı kazanı yardımıyla besleme suyunun buharlaştırılmasını sağlayarak bacaya gelir ve buradan dışarı atılır. Atık ısı kazanında oluşan buhar, buhar türbininde yeniden bir elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Atık ısı kazanından sonra 13 numaralı vana sadece çekilecek buhar miktarını belirttiği için kullanılmıştır. Santralin giriş verileri aşağıda verilmiştir.

$$P_{in,komp} = 1,013 \text{ [bar]}$$

$$\dot{m}_{in,hava} = 50 \text{ [kg/s]}$$

$$T_{in,komp} = 15 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_{çıkış,komp} = 13,7 \text{ [bar]}$$

$$\eta_{I,komp} = 1$$

$$\Delta P_{yanma o,} = 0,27$$

$$R_{oks/yakıt} = 25$$

$$T_{tepkime} = 1100 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_{tepkime} = 13,5 \text{ [bar]}$$

$$T_{in,GT} = 1100 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\eta_{I,GT} = 1$$

$$P_{in,G,HE} = 1,013 \text{ [bar]}$$

$$\Delta P_G = 0 \text{ [bar]}$$

$$\Delta P_B = 0 \text{ [bar]}$$

$$T_{\text{out,B}} = 200 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{\text{out,G}} = 120 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\dot{m}_{\text{buhar}} = 31,871 \text{ [kg/s]}$$

$$\eta_{\text{I,BT}} = 1$$

$$\Delta T_{\text{soğutma suyu}} = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\Delta P_{\text{soğutma suyu}} = 1 \text{ [bar]}$$

$$\Delta P_{\text{yoğuşma}} = 0 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{in,yoğuşma}} = 0,105 \text{ [bar]}$$

$$\text{SATCOD} = 0$$

$$P_{\text{out,pompa9}} = 30 \text{ [bar]}$$

$$\eta_{\text{I,pompa9}} = 1$$

$$T_{\text{out,heatsink10}} = 15 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_{\text{in,heatsink10}} = 3 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{out,heatsink10}} = 1 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{out,pompa11}} = 4 \text{ [bar]}$$

$$\eta_{\text{I,pompa11}} = 1$$

Yukarıda verilen değerler sonucunda santral gaz türbininden 39.7 MW, buhar türbininden 4.278 MW elektrik gücü üretmektedir. 18.472 MW ısıyı da kondensere gelen buharı yoğuşturmak için atmaktadır. Sistemin programda çalıştırılması ile program tarafından hesaplanan diğer değerler Şekil 7.8'den de görülebilir. Yine programın kendi içinde hesaplanan değerler Şekil 7.9'da gösterilmektedir.

Pipe no.	Medium	Mass flow [kg/s]	Mole flow [kmol/s]	Volume flow [m3/s]	Pressure [bar]	Temperature [°C]	Enthalpy [kJ/kg]	Entropy [kJ/kg.K]	Exergy [kJ/kg]	Quality [%]
1	GASMIX 1	50.000	1.733	40.982 40.982	1.013 1.013	15.00 15.00	-98.85 -98.85	6.8653 6.8653	0.11 0.11	
2	GASMIX 1	50.000	1.733	6.3007 6.3007	13.70 13.70	325.98 325.98	220.86 220.86	6.8653 6.8653	319.82 319.82	
3	GASMIX 2	1.277	0.068	0.10940 0.11978	15.00 13.70	15.00 15.00	-3642.08 -3642.08	9.1575 9.1979	39732.38 39720.73	
4	GASMIX 3	51.277	1.803	15.326 15.326	13.43 13.43	1100.00 1100.00	124.69 124.69	8.0196 8.0196	984.85 984.85	
5	GASMIX 3	51.277	1.803	108.54 108.54	1.013 1.013	460.35 460.35	-650.49 -650.49	8.0196 8.0196	209.67 209.67	
6	GASMIX 3	51.277	1.803	58.172 58.172	1.013 1.013	120.00 120.00	-1023.00 -1023.00	7.3396 7.3396	33.08 33.08	
7	WATERSTM 1	34.519	1.916	0.039871 0.039871	30.00 30.00	200.00 200.00	852.98 852.98	2.3285 2.3285	183.62 183.62	0.00 0.00
8	WATERSTM 1	34.519	1.916	107.95 107.95	0.1050 0.1050	46.77 46.77	729.04 729.04	2.3285 2.3285	59.67 59.67	22.31 22.31
9	WATERSTM 1	34.519	1.916	0.034888 0.034888	0.1050 0.1050	46.77 46.77	195.81 195.81	0.6617 0.6617	6.73 6.73	0.00 0.00
10	WATERSTM 1	34.519	1.916	0.034843 0.034843	30.00 30.00	46.87 46.87	198.83 198.83	0.6617 0.6617	9.75 9.75	0.00 0.00
11	WATERSTM 1	220.317	12.230	0.22162 0.22162	3.000 3.000	35.00 35.00	146.92 146.92	0.5051 0.5051	2.97 2.97	0.00 0.00
12	WATERSTM 1	220.317	12.230	0.22052 0.22052	1.000 1.000	15.00 15.00	63.08 63.08	0.2245 0.2245	0.00 0.00	0.00 0.00
13	WATERSTM 1	220.317	12.230	0.22048 0.22048	4.000 4.000	15.00 15.00	63.38 63.38	0.2245 0.2245	0.30 0.30	0.00 0.00
14	WATERSTM 1	34.519	1.916	0.039871 0.039871	30.00 30.00	200.00 200.00	852.98 852.98	2.3285 2.3285	183.62 183.62	0.00 0.00

Şekil 7.9 Kombine çevrim santrali hesaplamasında çıkan sonuçlar

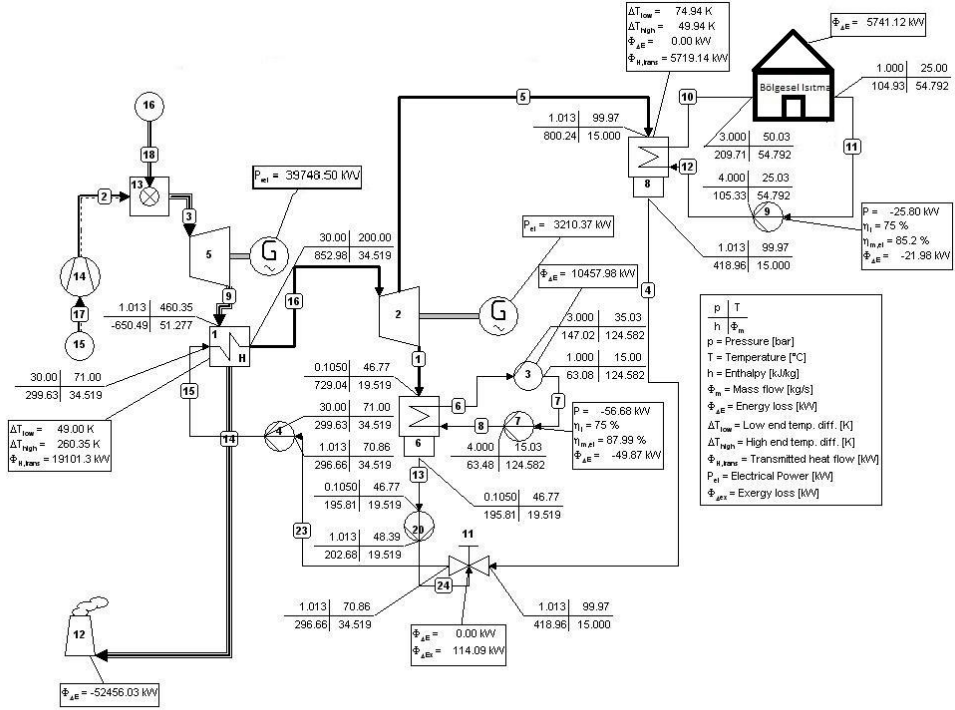
Buna ek olarak Şekil 7.10'da da sistemin ısıl ve ekserji verimleri görülebilir.

delivered	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]	Exergy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	3	Sink/Source	10	48507.82		50720.57	
Delivered gross power	2	Generator	G	4278.36		4278.36	
	1	Generator	G	39748.50		39748.50	
					44026.86		44026.86
Aux. power consumption	2	Compressor	29	16651.75		16651.75	
	9	Pump	8	112.06		112.06	
	11	Pump	8	73.82		73.82	
					16837.63		16837.63
Delivered net power					27189.23		27189.23
Efficiencies	gross			90.762 %		86.803 %	
	net			56.051 %		53.606 %	

Şekil 7.10 Kombine çevrim santralinde verim ve ekserji sonuçları

Şekil 7.10'dan da anlaşılacağı gibi çevrimin verimi yaklaşık olarak % 56'dır. Bunun yanında 2. Kanun verimi yaklaşık olarak % 53.6'dır.

### 7.3 Ara Buhar Alma Durumunda



Şekil 7.11 Bölgesel ısıtma için kurulan kojenerasyonun şeması

Şekil 7.11’de kombine çevrim santralinde buhar türbininden buhar alma durumuna göre bir sistem tasarlandı. Buradaki amaç gerekli ısıtma için sistemden buhar çekerek bölgesel ısıtmayı sağlamak ve buna karşın kazanılan bu ısının sistemin elektrik kaybına oranı olan COP’yi incelemektir. Bu sistemde çekilen buhar bölgesel ısıtma için yine aynı basınçta yoğuşturulmakta ve yoğuşma ile verdiği ısı bölgesel ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Öncelikle bütün giriş verileri önceki kombine çevrim giriş verileri ile aynıdır. Bu verilere ek olarak sadece buhar çekme verileri ve bölgesel ısıtmada kullanılacak veriler aşağıdaki gibidir.

$$P_{\text{Buhar,çekme}} = 1.013 \text{ [bar]}$$

$$\Delta P_{\text{buhar}} = 0 \text{ [bar]}$$

$$\Delta P_{\text{bö.ısı}} = 1 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{out,hs10}} = 1 \text{ [bar]}$$

$$T_{\text{out,hs10}} = 50 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_{out,pompa9} = 4 \text{ [bar]}$$

$$\eta_{I,pompa9} = 1$$

olarak sisteme girilmektedir. Sisteme ek olarak bağlantı vanası konulmuştur. Bu vananın amacı buhar türbininden çekilecek buharın miktarını belirlemek ve yoğuşan suların birleşimini sağlamaktır. Şekil 7.12’de sistemin verimini gösteren değerler bulunmaktadır. Sistemin verimi bir önceki çevrime göre bir miktar azalmaktadır. Bunun nedeni bölgesel ısıtmada sağlanan ısının sistemin verimine dahil edilmemesidir. Fakat bunun yanında 15 kg/s ile buhar çekilirse bölgesel ısıtma için gerekli ısı miktarı yaklaşık olarak 5,741 MW lık bir güce denk gelmektedir. Buna karşın sistemin elektrik gücü azalması ise 1,068 MW’lık bir güçtür. Buradan sistemin COP’ si 5,36 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 8.7 ve 8.8’ de sistemin çevre koşullarının 15 °C alındığı durumda ekserjileri de program tarafından hesaplanmaktadır.

delivered	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]	Exergy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	16	Sink/Source	10	48507.82	48507.82	50720.57	50720.57
Delivered gross power	2	Generator	G	38953.37		38953.37	
	1	Generator	G	3210.37		3210.37	
					42163.75		42163.75
Aux. power consumption	7	Pump	8	56.68		56.68	
	4	Pump	8	110.02		110.02	
	9	Pump	8	25.80		25.80	
	14	Compressor	29	15985.68		15985.68	
	20	Pump	8	143.99		143.99	
					16322.17		16322.17
Delivered net power					25841.57		25841.57
Efficiencies	gross			86.922 %		83.129 %	
	net			53.273 %		50.949 %	

Şekil 7.12 Bölgesel ısıtma için kurulan kojenerasyonun verim ve ekserji sonuçları

Pipe no.	Medium	Mass flow [kg/s]	Mole flow [kmol/s]	Volume flow [m3/s]	Pressure [bar]	Temperature [°C]	Enthalpy [kJ/kg]	Entropy [kJ/kg.K]	Exergy [kJ/kg]	Quality [%]
1	WATERSTM 1	19.519	1.083	61.043 61.043	0.1050 0.1050	46.77 46.77	729.04 729.04	2.3285 2.3285	59.67 59.67	22.31 22.31
2	GASMIX 1	50.000	1.733	6.3007 6.3007	13.70 13.70	325.98 325.98	220.86 220.86	6.8653 6.8653	319.82 319.82	
3	GASMIX 2	51.277	1.803	15.326 15.326	13.43 13.43	1100.00 1100.00	124.69 124.69	8.0196 8.0196	984.85 984.85	
4	WATERSTM 1	15.000	0.833	0.015651 0.015651	1.013 1.013	99.97 99.97	418.96 418.96	1.3066 1.3066	44.05 44.05	0.00 0.00
5	WATERSTM 1	15.000	0.833	4.2549 4.2549	1.013 1.013	99.97 99.97	800.24 800.24	2.3285 2.3285	130.88 130.88	16.90 16.90
6	WATERSTM 1	124.582	6.915	0.12532 0.12532	3.000 3.000	35.03 35.03	147.02 147.02	0.5054 0.5054	2.98 2.98	0.00 0.00
7	WATERSTM 1	124.582	6.915	0.12469 0.12469	1.000 1.000	15.00 15.00	63.08 63.08	0.2245 0.2245	0.00 0.00	0.00 0.00
8	WATERSTM 1	124.582	6.915	0.12468 0.12468	4.000 4.000	15.03 15.03	63.48 63.48	0.2248 0.2248	0.30 0.30	0.00 0.00
9	GASMIX 2	51.277	1.803	108.54 108.54	1.013 1.013	460.35 460.35	-650.49 -650.49	8.0196 8.0196	209.67 209.67	
10	WATERSTM 1	54.792	3.041	0.055451 0.055451	3.000 3.000	50.03 50.03	209.71 209.71	0.7040 0.7040	8.44 8.44	0.00 0.00
11	WATERSTM 1	54.792	3.041	0.054955 0.054955	1.000 1.000	25.00 25.00	104.93 104.93	0.3672 0.3672	0.71 0.71	0.00 0.00
12	WATERSTM 1	54.792	3.041	0.054948 0.054948	4.000 4.000	25.03 25.03	105.33 105.33	0.3676 0.3676	1.01 1.01	0.00 0.00
13	WATERSTM 1	19.519	1.083	0.019728 0.019728	0.1050 0.1050	46.77 46.77	195.81 195.81	0.6617 0.6617	6.73 6.73	0.00 0.00
14	GASMIX 2	51.277	1.803	58.172 58.172	1.013 1.013	120.00 120.00	-1023.00 -1023.00	7.3396 7.3396	33.08 33.08	
15	WATERSTM 1	34.519	1.916	0.035279 0.035279	30.00 30.00	71.00 71.00	299.63 299.63	0.9654 0.9654	23.05 23.05	0.00 0.00
16	WATERSTM 1	34.519	1.916	0.039871 0.039871	30.00 30.00	200.00 200.00	852.98 852.98	2.3285 2.3285	183.62 183.62	0.00 0.00
17	GASMIX 1	50.000	1.733	40.982 40.982	1.013 1.013	15.00 15.00	-98.85 -98.85	6.8653 6.8653	0.11 0.11	
18	GASMIX 3	1.277	0.068	0.10940 0.11978	15.00 13.70	15.00 15.00	-3642.08 -3642.08	9.1575 9.1979	39732.38 39720.73	
23	WATERSTM 1	34.519	1.916	0.035322 0.035322	1.013 1.013	70.86 70.86	296.66 296.66	0.9654 0.9654	20.08 20.08	0.00 0.00
24	WATERSTM 1	19.519	1.083	0.019741 0.019741	1.013 1.013	48.39 48.39	202.68 202.68	0.6829 0.6829	7.51 7.51	0.00 0.00

Şekil 7.13 Bölgesel ısıtma için bulunan bütün değerler

#### 7.4 Maliyet Karşılaştırmaları

Öncelikle maliyet hesaplamalarında Türkiye’de ortalama daire ölçümlerinin 100 m<sup>2</sup> olduğu kabul edilerek kullanılan ısı ve elektrik enerjisi dikkate alınmıştır. Ankara’da kış aylarında 100 m<sup>2</sup> lik bir ev en fazla 10 m<sup>3</sup> doğalgazı ısıtmada kullanmaktadır. Başkent doğalgaz dağıtım fiyatları aralık ayı için aşağıdaki Çizelge 7.4’ de verilmiştir.

Çizelge 7.4 Konut ve organize sanayi bölgesi aboneleri doğalgaz bedelleri (Başkent Gaz)

Abone Grubu	1 kWh Bedeli TL/kWh	1 m3 Bedeli TL/m3	KDV	1 m3 Bedeli TL/m3 (KDV li)
Konut Aboneleri	0,06614304 TL/kWh	0,703762 TL/m3	%18	0,830439 TL/m3
Organize Sanayi	0,05439455 TL/kWh	0,578758 TL/m3	%18	0,682934 TL/m3

BOTAŞ' ın sanayiye sattığı bedeller aşağıda verilmiştir.

Çizelge 7.5 BOTAŞ ile doğalgaz satış sözleşmesi imzalamış serbest uygulanan doğalgaz satış fiyat tarifesi

AY	KESİNTİSİZ SINAI MÜŞTERİLERİ		ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ MÜŞTERİLERİ		KESİNTİLİ SINAI MÜŞTERİLERİ	
	TL/kwh	TL/Sm <sup>3</sup>	TL/kwh	TL/Sm <sup>3</sup>	TL/kwh	TL/Sm <sup>3</sup>
ARALIK	0,05094455	0,54205	0,05068985	0,53934	0,05068985	0,53934
KASIM	0,05094455	0,54205	0,05068985	0,53934	0,05068985	0,53934
EKİM	0,05094455	0,54205	0,05068985	0,53934	0,05068985	0,53934

BOTAŞ yine fiyatlandırma için 9155 KCal/Sm<sup>3</sup> ısı değerini kullanmaktadır. Bu verilerden aralık ayı fiyatları değerlendirmeye alınacak olursa 1 dairenin (Ankara) kullandığı doğalgazın ısı değeri 10,64 kWh/m<sup>3</sup> olarak alınacaktır. Günlük 10 m<sup>3</sup> ten toplam 106,4 kWh ısıtma için doğalgaz kullanmaktadır. Bu değer aylık olarak 3192 kWh ısı enerjisi demektir ve saatlik 4.43 kWh olur. 5741 kWh' lık ısı üreten bir çevrim 1295 hanelik ısıtmayı karşılayabilmektedir. Yakıt bazında kombine çevrim santrallerinin birim yatırım maliyeti değeri için 625 dolar/KW MTA'nın verilerinden alınmıştır. Bu da şimdiki 1156,250 TL/KW olmaktadır. Tasarlanan santralde toplam elektrik üretimi yaklaşık 44 MW ve net üretimi 27,19 MW tır santral maliyeti 27.500.000 \$ ya da 50.875.000 TL olacaktır. Buradan yola çıkarak,

#### 7.4.1 Santral Maliyeti

##### 7.4.1.1 Yatırım Maliyeti (Sabit Yıllık Sermaye Maliyeti)

$I_k$  Toplam maliyettir.  $C_k$  ise sabit yıllık sermaye masrafı olarak ele alınacaktır.  $C_k$  aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$C_k = I_k \times \left( \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right)$$

$$C_k = 27500000 \times \left( \frac{0,01 \times (1+0,01)^{15}}{(1+0,01)^{15} - 1} \right) = 3615528,864 \text{ \$/yıl}$$

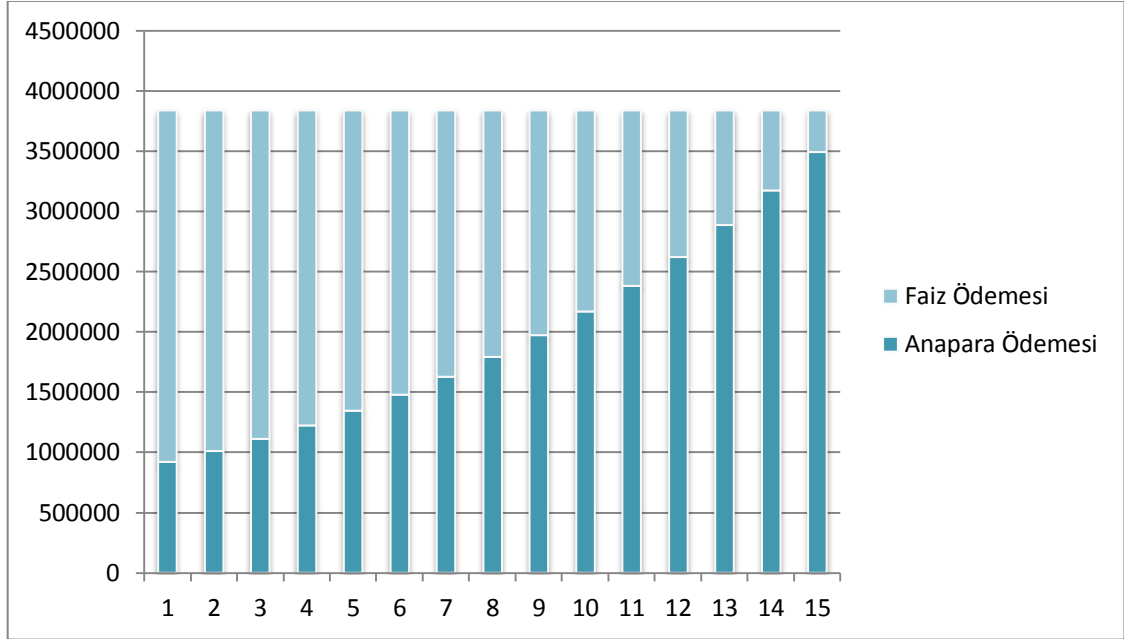
$$E_l = 8760 * 27189 * 0,8 = 190547520 \text{ kW}_e\text{h} - \text{yıl} \quad 0,8 \text{ yük faktörü olarak ele alınır}$$

$$g_k = \frac{C_k}{E_l} = \frac{3615528,864 \cdot 1000}{190547520} = 18,97 \frac{\text{mills}}{\text{kW}_e\text{h}}$$

Çizelge 7.6 Basit kojenerasyon sabit yıllık sermaye maliyeti

yıl	Borç	Yıllık Faiz Ödemesi	Yıllık Anapara Ödemesi	Yıllık Toplam Ödeme	Şimdiki Değer
1	27500000	2750000	865528,8644	3615528,864	3286844,422
2	26634471,14	2663447,114	952081,7508	3615528,864	2988040,384
3	25682389,38	2568238,938	1047289,926	3615528,864	2716400,349
4	24635099,46	2463509,946	1152018,919	3615528,864	2469454,863
5	23483080,54	2348308,054	1267220,81	3615528,864	2244958,966
6	22215859,73	2221585,973	1393942,891	3615528,864	2040871,787
7	20821916,84	2082191,684	1533337,181	3615528,864	1855337,988
8	19288579,66	1928857,966	1686670,899	3615528,864	1686670,899
9	17601908,76	1760190,876	1855337,988	3615528,864	1533337,181
10	15746570,77	1574657,077	2040871,787	3615528,864	1393942,891
11	13705698,98	1370569,898	2244958,966	3615528,864	1267220,81
12	11460740,02	1146074,002	2469454,863	3615528,864	1152018,919
13	8991285,155	899128,5155	2716400,349	3615528,864	1047289,926
14	6274884,806	627488,4806	2988040,384	3615528,864	952081,7508
15	3286844,422	328684,4422	3286844,422	3615528,864	865528,8644
	TOPLAM	26732932,97	27500000	54232932,97	27500000

Çizelge 7.6' dan 15 yıllık sabit ödeme planına göre sermaye maliyeti gözükmemektedir. Bu ödeme planına göre birim enerji başına sermaye maliyeti  $18,97 \frac{\text{mills}}{\text{kW}_e\text{h}}$  olarak hesaplanmaktadır. Şekil 7.14'te de ödeme planı gösterilmektedir.



Şekil 7.14 Basit kojenerasyon sabit yıllık ödeme grafiği

#### 7.4.1.2 Yakıt Maliyeti

Doğalgaz için ısı değeri  $H_u=10,64 \text{ kWh}/\text{m}^3$

Santralin yıllık yakıt tüketiminin ısı değeri  $=48507,82 \cdot 8760 \cdot 0,8=339.942.802,6 \text{ kWh}$

$$\text{Santralin Yıllık Yakıt Tüketimi} = \frac{\text{Santralin yakıt tüketimi toplam ısı değeri}}{\text{Doğalgaz alt ısı değeri}}$$

$$= \frac{339.942.802,6}{10,64} = 31.949.511,52 \text{ m}^3$$

Sanayi için birim doğalgaz miktarı  $0,53934 \text{ TL}/\text{m}^3$  ya da  $0,2915 \text{ \$/m}^3$  olarak alınırsa KDV'li olarak  $0,63642 \text{ TL}/\text{m}^3$  ya da  $0,344 \text{ \$/m}^3$  olur.

$$\text{Yıllık Yakıt maliyeti} = \text{Santralin Yakıt Tüketimi} \times \text{Birim alış Fiyatı} = 10.990.998,1\text{\$}$$

$$g_f = \frac{F \cdot q}{H_u}$$

$$q = 860,43 \text{ kCal}/\text{kW}_e\text{h}$$

$$g_f = \frac{0,344 \cdot 10^3 \cdot 860,43}{9155} = 32,3 \text{ mills}/kW_e h$$

Birim yakıt maliyeti 32,3 mills/kW<sub>e</sub>h olarak hesaplanır.

#### 7.4.1.3 İşletme ve Bakım Maliyeti

Yıllık işletme ve bakım maliyeti 18,36 \$/kWeh-yıl olarak alınacak olursa birim maliyeti

$$g_m = \frac{18,36 \cdot 10^3 \cdot 44000}{190547520} = 4,24 \text{ mills}/kW_e h$$

Olarak hesaplanır. Böylelikle toplam elektrik başına birim maliyet

$$g = g_k + g_f + g_m$$

$$g = 18,97 + 32,3 + 4,24 = 55,51 \text{ mills}/kW_e h$$

Olarak bulunur. Bu da

$$g = 0,1026935 \text{ TL}/kW_e h$$

TL cinsinden birim maliyet hesaplaması yapılır.

#### 7.4.2 Bölgesel Isıtma Amaçlı Ara Buhar Almalı Kombine Çevrim Santrali Maliyeti

Bu çevrimde ek olarak kondenser, 2 adet pompa ve bölgesel sistem için ısı değiştirici ile belirli uzunlukta borulamalar olacaktır. Bunun için kondenser fiyatı yaklaşık 2.000.000 TL, eşanjör seti 250.000 TL, borular ve bağlantı elemanları 200.000 TL, vanalar ve gerekli bileşenleri ile yaklaşık 150.000, buhar menfezi susturucusu 50.000, pompalar 350.000 TL olarak alınarak kombine çevrim santraline ek olarak 3.000.000 TL'lik ek maliyet olacaktır.

Buna göre toplam maliyet yaklaşık olarak 54.000.000 TL olacaktır. Dolar olarak ise yaklaşık 29.200.000 olacaktır.

##### 7.4.2.1 Yatırım Maliyeti (Sabit Yıllık Sermaye Maliyeti)

I<sub>k</sub> Toplam maliyettir. C<sub>k</sub> ise sabit yıllık sermaye masrafı olarak ele alınacaktır. C<sub>k</sub> aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$C_k = I_k \times \left( \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right)$$

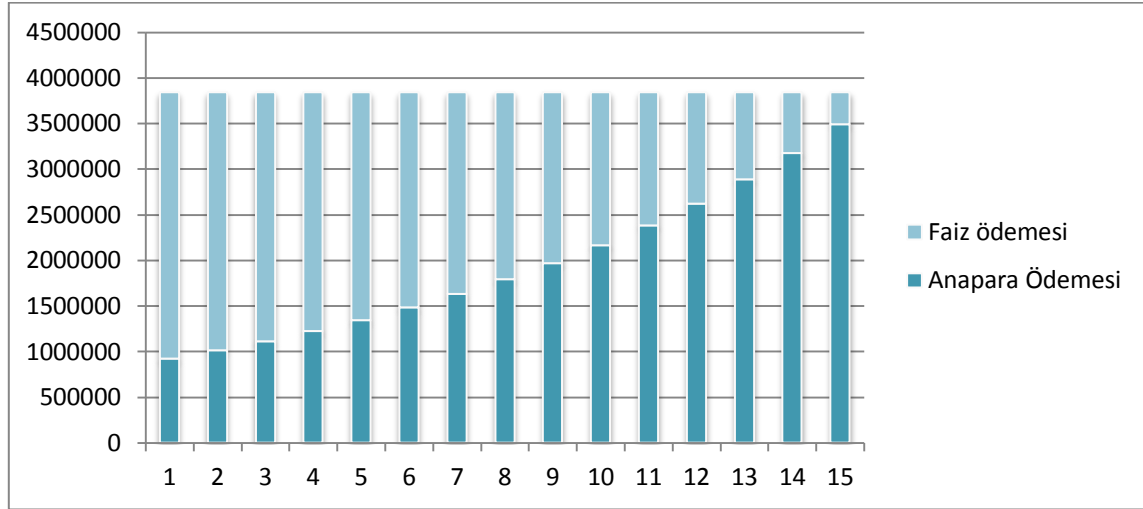
$$C_k = 29.200.000 \times \left( \frac{0,01 \times (1 + 0,01)^{15}}{(1 + 0,01)^{15} - 1} \right) = 3839034,285 \text{ \$/yıl}$$

$$g_k = \frac{C_k}{E_I} = \frac{3839034,285 \cdot 1000}{8760 \cdot 25841 \cdot 0,8} = 21,2 \frac{\text{mills}}{\text{kWh}}$$

Çizelge 7.7 Bölgesel ısıtılmalı kojenerasyon sabit yıllık sermaye maliyeti

Yıl	Borç	Yıllık Faiz Ödemesi	Yıllık Anapara Ödemesi	Yıllık Toplam Ödeme	Şimdiki Değer
1	29200000	2920000	919034,2851	3839034,285	3490031,168
2	28280965,71	2828096,571	1010937,714	3839034,285	3172755,608
3	27270028	2727002,8	1112031,485	3839034,285	2884323,28
4	26157996,52	2615799,652	1223234,633	3839034,285	2622112,072
5	24934761,88	2493476,188	1345558,097	3839034,285	2383738,248
6	23589203,79	2358920,379	1480113,907	3839034,285	2167034,771
7	22109089,88	2210908,988	1628125,297	3839034,285	1970031,61
8	20480964,58	2048096,458	1790937,827	3839034,285	1790937,827
9	18690026,76	1869002,676	1970031,61	3839034,285	1628125,297
10	16719995,15	1671999,515	2167034,771	3839034,285	1480113,907
11	14552960,38	1455296,038	2383738,248	3839034,285	1345558,097
12	12169222,13	1216922,213	2622112,072	3839034,285	1223234,633
13	9547110,055	954711,0055	2884323,28	3839034,285	1112031,485
14	6662786,776	666278,6776	3172755,608	3839034,285	1010937,714
15	3490031,168	349003,1168	3490031,168	3839034,285	919034,2851
	TOPLAM	28385514,28	29200000	57585514,28	29200000

Basit bir sabit yıllık ödeme planına ile 15 yıla paylaşılmış yıllık faiz oranının % 1 olduğu durumda anapara ve faiz ödemeleri Çizelge 7.7' de gösterilmektedir. Aynı zamanda şekil 7.15'de de yıllık ödemelerin nasıl bir değişim gösterdiği görülmektedir. Şekil 7.15'e bakıldığında yıllık anapara ödemeleri artarken faiz ödemeleri de azalmaktadır.



Şekil 7.15 Bölge ısıtım kojenasyonu için sabit yıllık ödeme grafiği

#### 7.4.2.2 Yakıt Maliyeti

Doğalgaz için alt ısı değer  $H_u=10,64 \text{ KW/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Santralin Yakıt Tüketimi} &= \frac{\text{Santralin yakıt tüketimi toplam ısı değer}}{\text{Doğalgaz alt ısı değeri}} \\ &= \frac{339.942.802,6}{10,64} = 31.949.511,52 \end{aligned}$$

Sanayi için birim doğalgaz miktarı  $0,53934 \text{ TL/m}^3$  ya da  $0,2915 \text{ \$/m}^3$  olarak alınırsa KDV'li olarak  $0,63642 \text{ TL/m}^3$  ya da  $0,344 \text{ \$/m}^3$  olur.

$$\begin{aligned} \text{Yıllık Yakıt maliyeti} &= \text{Santralin Yakıt Tüketimi} \times \text{Birim alış Fiyatı} = \\ &11.643.006,4 \text{ \$} \end{aligned}$$

$$g_f = \frac{F \cdot q}{H_u}$$

$$q = 860,43 \text{ kCal/kWh}$$

$$g_f = \frac{0,344 \cdot 10^3 \cdot 860,43}{9155} = 32,3 \text{ mills/kW}_e\text{h}$$

olarak sabit değeri bulunur.

#### 7.4.2.3 İşletme ve Bakım Maliyeti

Yıllık işletme ve bakım maliyeti 18,36 \$/kW<sub>e</sub>-yıl olarak alınacak olursa yıllık maliyeti

$$g_m = \frac{18,36 \cdot 10^3 \cdot 44000}{181097722,6} = 4,46 \text{ mills/kW}_e h$$

olarak hesaplanır. Böylelikle toplam maliyet

$$g = g_k + g_f + g_m$$

$$g = 21,2 + 32,3 + 4,46 = 57,96 \text{ mills/kW}_e h$$

olarak bulunur. Bu da

$$g = 0,107226 \text{ TL/kW}_e h$$

TL cinsinden birim maliyet hesaplaması yapılır.

Yılın yarı zamanında ısıtmaya ihtiyaç olacağından ısının satış fiyatını hesaplamak için buhar çektiğimiz santral ile buhar çekilmeyen kombine çevrim santralinin arasındaki maliyet farkını buhar satış fiyatı olarak alalım.

Aradaki fark

$$\Delta g = 0,107226 - 0,1026935 = 0,0045325 \frac{\text{TL}}{\text{kW}_e h} = 0,00245 \text{ DOLAR/kW}_e h$$

Yıllık fark

$$I_{fark} = \Delta g * E_e = 0,00245 * 181097722,6 = 443.689,4 \$$$

Yıllık ısı üretimi

$$E_{ISI} = 5741 * 8760 * 0,5 = 25.116.875 \text{ kW}_{ISI} h$$

$$g_{ISI} = \frac{I_{fark}}{E_{ISI}} = \frac{443.689,4}{25.116.875} = 0,0257 \text{ \$/kW}_{ISI} h$$

$$g_{ISI} = 0,0177 \text{ TL/kW}_{ISI} h$$

Normalde kullanıcının ödediği fiyat Çizelge 7.4' ten 0,06614304 TL/kWh olarak görülmektedir, buhar almalı sistemde ise daha öz ödeyecek ve parasının % 40-70' indan tasarruf sağlayacaktır.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bölgesel ısıtmanın yollarından biri olan ara buhar alma yöntemini inceleyerek sistemden çekilen buharın ısı kazancının, buhar çekme ile buhar türbininden elektrik enerjisi kaybına yol açması ve ısı kazancının elektrik kaybına oranına COP demiştik. Öncelikle değişen basınç aralıklarında sabit debide çekilen buharın COP sinin düşük basınçlarda daha yüksek, yüksek basınçlarda ise daha düşük olduğu sonucuna vardık. Böylelikle buhar türbininden buhar çekmenin düşük basınçlarda daha verimli olduğu sonucuna vararak, tasarladığımız sistemde de düşük basınçta buhar çekme işlemini uyguladık. Bunun yanında basıncı sabit tutarak değişken debilerdeki COP'yi incelediğimizde COP'nin nerdeyse debiye göre değişmediğini gördük ve bunun sonucunda elektrik ve ısı talebine göre buhar çekilmesi sonucuna vardık. Kendi sistemimizde ise düşük debide buhar çekerek bir sitenin ısınmasını buradan karşılamaya çalıştık. Uygulama bölümünde CT programını kullanılarak öncelikle ara buhar almasız kombine çevrim ile ara buhar almalı kombine çevrim santrallerinin belirli yakıt ve çevre koşullarına göre güç üretimleri ve ısı üretimlerinin yanında ekserji, ekserji verimi ve termik verimleri hesaplandı. Bu hesaplamalar sonucunda santrallerin maliyet analizleri yapılarak sistemlerin uygulanabilirliğini bakıldı. Bunun sonucunda ara buhar almalı santralde elektriği, ara buhar almasız santraldeki elektriğin satıldığı fiyattan satmak suretiyle bölgesel ısıtmada kullanılan ısı satış fiyatını hesapladık ve ısı satış fiyatı normalde piyasada satılan ısının fiyatında daha düşük bir fiyatta kullanıcıya yansıdı. Bunun sonucunda ise ara buhar almalı bir santralin kullanıcıya maliyet açısından daha faydalı olduğu görüldü. Böylelikle kullanıcı için ekonomik yönden karlı olmasının yanında kullanıcıların kişisel yakıt kullanımını engelleyerek çevreye daha az

miktarda CO<sub>2</sub> salınımı ve egzoz salınımı olması yönünden çevrenin daha aza kirlenmesine neden olmaktadır. Daha temiz bir çevre daha sağlıklı bir topluma neden olmakta ve birçok hastalığın önüne geçmektedir. Böylelikle devletin sağlık harcamalarını da azaltmaya neden olmaktadır. Bireyler ısıtma için ayrıca yakıt harcamayarak yakıtların azalmaya başladığı günümüzde yakıtların daha verimli kullanılmasına olanak sağlanmış olur. Kısacası sistem ekonomik olarak, verim yönünden, çevreye olan zararlı etkilerin azaltılması yönünden ve bunun sonucunda sağlıklı bireylerin olduğu bir toplum yönünden çok faydalı olmaktadır. Bundan dolayı eski konvansiyonel sistemlerin yerine bu sistemlerin kullanılması sağlanmalı, bu sistemlerin kullanılması ile santrallerin termik verimlerinin daha yüksek olacağı bilinmeli, böylelikle ülke ekonomisine olan fayda da artacaktır. Ülkeye olan ekonomik faydanın yanında ülkenin içinde şehirlerde düzensiz yakıt kullanımlarının da önüne geçilecektir. Bu sistemler eski sistemlere göre hem ülkeye hem bireylere birçok yönden faydalı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- 
- [1] Çengel, Y.A., (2006). Engineering Thermodynamics, Fifth edition, Mc-Graw Hill.
  - [2] Wikipedia, Brayton Çevrimi, [tr.wikipedia.org](http://tr.wikipedia.org), 1 Aralık 2011.
  - [3] EPA, Basic information, [www.epa.gov](http://www.epa.gov), 7 Ekim 2010.
  - [4] Şahin, B. ve Aybers,N.,(1995). Mühendislik Ekonomisi, YTÜ yayınları.
  - [5] Schneider, F.,(2004). “Simulation of a Thermal Power Plant with District Heating”, Science Direct, 1955-1968.
  - [6] Savola, (2006). “Increased Power to Heat Ratio of Small Scale CHP Plants”, Science Direct, 3105-3118.
  - [7] Erdem, H. H.,(2010). “Thermodynamic Analysis of An Existing Coal-Fired Power Plant for District”, Elsevier,181-187.
  - [8] Badami, M.,(2010). “Exergetic Analysis of An Innovative Small Scale Combined Cycle”, Elsevier, 2535-1543.
  - [9] Magnus, C.,(2004). “An Analysis of The Efficiency and Economy of Humidified Gas”, Elsevier, 1945-1961.
  - [10] Pedro, J.,(2010). “Analysis and Optimization of The Use of CHP–ORC Systems for Small”, Elsevier, 1491-1498.
  - [11] Zhao, X.L.,(2010). “Performance Improvement of a 70 kWe Natural Gas Combined Heat and Power”, Elsevier, 1848-1853.
  - [12] Haselbacher, H.,(1997). Efficient District Heat Production, [www.asme.org](http://www.asme.org), 08 Eylül 2010.
  - [13] Cycle-Tempo Release 5,(1980-2006). Cycle-Tempo user manuel.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Volkan TÜRKMEN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 05.02.1981 Şişli  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : turkmenbey@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Müh.	ODTÜ	2008
Lise	Fen Lisesi	Ali Osman Sönmez (Bursa)	2000

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Ekonomi Bakanlığı	Dış Ticaret Uzman Yrd.
2011	Hazine Müsteşarlığı	Hazine Uzman Yrd.
2009	İstanbul Üniversitesi	Makine Mühendisi