

İŞLETME DENEYİMİ VE VERİLERİNE GÖRE OPTİMUM KOJENERASYON SANTRALİ SEÇİMİ

Levent KILIÇ

Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları
A.Ş.
İş Kuleleri Kule 3
34330 4.Levent İstanbul
lkilic@sisecam.com

Mustafa ÖZCAN

Şişli Teknik ve Endüstri Meslek
Lisesi Elektrik-Elektronik Alanı
34381 Şişli İstanbul
ozcanm2000@yahoo.com

Argun ÇİZMECİ

Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları
A.Ş.
İş Kuleleri Kule 3
34330 4.Levent İstanbul
acizmeci@sisecam.com

ÖZET

Özel sektör enerji üretim tesisi yatırımlarının en kısa sürede tamamlanması ve hedeflenen tarihte devreye alınması önemlidir. Bu amaç, özellikle arz talep dengesinin ve koşullarının gerektirmesiyle, üretimi ağırlıklı olarak gaz yakıtlı santraller kurmaya götürmüştür. Kurulum maliyeti, devreye alma süresi ve kolaylığı, yüksek emre amadelik, kapasite kullanım faktörü, vb. gibi birçok üstünlükleri nedeniyle gaz türbin /makine (motor) gruplarıyla elektrik üretimi tercih edilmektedir.

Kojenerasyon santralin gücü, yeri, kullanılacak hammadde, makine türü, sayısı ve boyutları, kurulum maliyetleri (faiz, amortisman) ile beraber işletme (tamir, bakım, idari) ve işletmeye alındıktan sonra karşılaşılabilecek çalışma koşulları tesisin veriminde ve kendini ödemesinde belirleyici olacaktır. Santral kurulurken beklenen teorik duruma karşılık hesaplamalar ya da kurulmuş santraller baz alınmaktadır. Ancak bu deneme yanılma ve işletme koşullarını yeterince gözönüne almadan yapılan değerlendirmeler, işletme verilerinden görüldüğü üzere belli sapmaya uğrayabilmektedir. Bu sapma, özellikle ekonomik hesaplamalarda beklentileri geciktirebilmektedir.

GİRİŞ

Kojenerasyon santrali için temelen öncelikli kriter doğru yatırım için doğru sistemlerin kurulmasından geçmektedir. Doğru sistemlerin seçimini makine türü, büyüklüğü ve sayısı önemli oranda etkilemektedir.

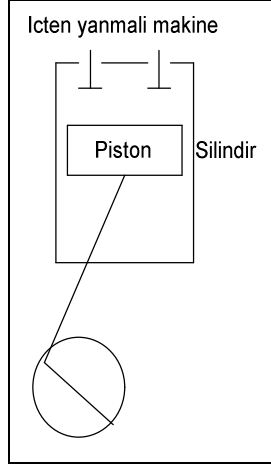
Ülkemizde enerji sektöründe yaşanan dinamik gelişmeler, bu seçimlerdeki toleransları gittikçe azaltmaktadır. Talebin net belirlenmesi, gelecek planlaması, vb. parametreler hangi kriterlerin baskın olacağını gösterecektir.

Kojenerasyon santrallerin seçiminde ısı ve elektrik üretimi ana parametrelerdir. Bu parametrelere ek olarak; soğutma gücü, işletme/işçilik, bakım, arıza giderleri, vergiler, vb. gibi parametreler de seçimde dikkate alınmaktadır.

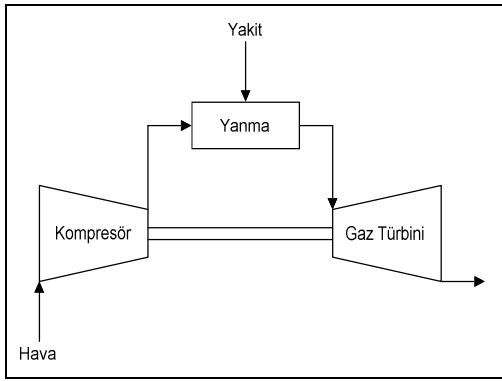
Bu çalışmada gerçek işletme verileri kullanılarak kojenerasyon santrallerinin seçim kriterleri değerlendirilecektir.

MAKİNE TÜRLERİ

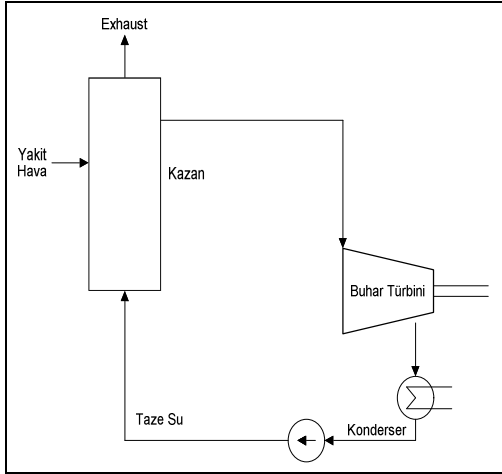
Kojenerasyon santrallerinde genel olarak; içten yanmalı pistonlu gaz makineleri, gaz türbinleri ve buhar türbinleri olmak üzere üç tür teknoloji kullanılmaktadır, Şekil 1-2-3. Üç teknolojinde uygulamada yeri mevcut olup, hangi teknolojinin tercih edileceğine saha şartları dikkate alınarak karar verilmelidir.



Şekil 1. Gaz makinesi (motoru)



Şekil 2. Gaz türbini



Şekil 3. Buhar türbini

Kombine Çevrim

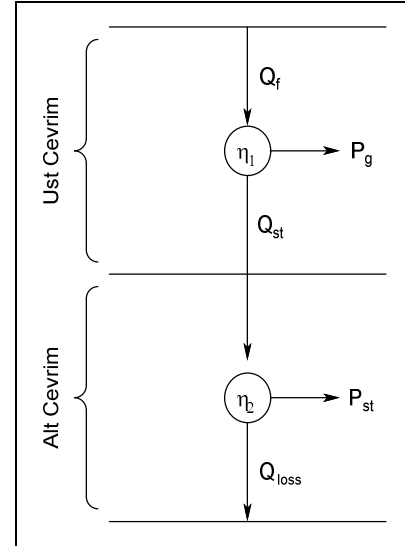
İçten yanmalı makineler ya da gaz türbinleri daha yüksek verim elde etmek için bir buhar türbini ile birleştirilebilirler. Burada gaz türbini ya da gaz makinesi üst çevrim, buhar türbini ise alt çevrim olarak kullanılmaktadır. Her iki sistem de buhar

türbini için gereken buharı üretecek atık ısı kazanı (AIK) kullanacaktır.

Gaz makineli kombine çevrim santralleri 15 – 300 MW aralığında kurulabilir. Çevrimin verimi % 44 – 49 aralığında olacaktır. Gaz makinelerinin egzoz gaz sıcaklığı 350 – 450 °C aralığındadır. Bu göreceli düşük sıcaklık buhar türbininde gaz makinesi gücünün % 5- 15' i kadar elektrik üretimi sağlayacaktır.

Gaz türbinli kombine çevrim santralleri 60 – 600 MW aralığında kurulabilir. Kendi başına verimliliği % 30 – 35 olan gaz türbini verimi kombine çevrim halinde % 45 – 50' ye yükselecektir. Buhar türbini gaz türbininin % 40 – 50' si kadar ilave elektrik gücü üretebilecek şekilde tasarlanırlar. 100 MW' tan küçük santrallerde buhar türbini elektrik verimi % 20 – 30 aralığındadır.

Gaz türbini egzoz gaz sıcaklığı 450 – 550 °C aralığındadır. Bu yüksek sıcaklık nedeniyle çok daha fazla atık ısı kullanılabilir [1-4].



Şekil 4. Kombine çevrim santrali

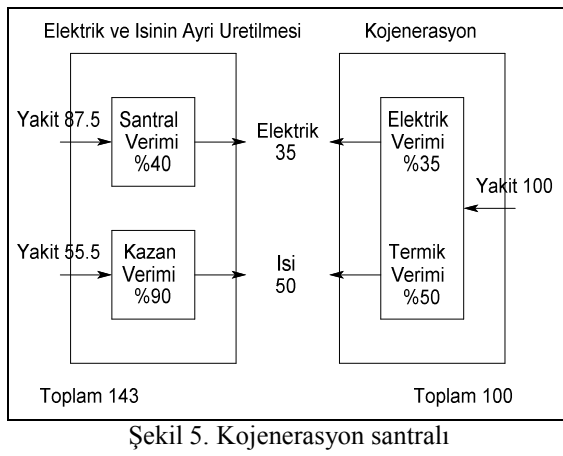
Üst ve alt çevrimlerden oluşan ve sırasıyla termik verimleri η_1 ve η_2 olan kombine çevrim santralının termik verimi,

$$\eta_{th} = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \cdot \eta_2 \quad 1.$$

olacaktır. Buna, makine verimi 0.30 olan gaz türbini ve atık ısısının değerlendirilmesi için çıkışına eklenen 0.20 verimli bir buhar türbini konduğunda tesis toplam veriminin 0.44 olacağı örnek olarak görülmektedir.

Kojenerasyon

Kojenerasyon tek çevrimde ısı ve elektrik gibi iki enerji türünün oluşumunu ifade etmektedir, Şekil 5.



Şekil 5. Kojenerasyon santrali

SANTRAL PARAMETRELERİ

Elektrik ve Isı

Net elektrik gücü çıkışı santralın ana parametresidir. Net çıkış gücü Denklem 2’de verilmektedir:

$$\begin{aligned} P_{net} &= P_g - P_{aux} \\ &= \eta P_m - P_{aux} \end{aligned} \quad 2.$$

Burada P_g generatör gücü, P_{aux} yardımcı sistemler (iç ihtiyaç), η generatör verimi ve P_m de makinenin mekanik gücüdür.

Hava soğutmalı generatörün gücü tipik olarak % 97’ dir. Gaz makineli sistemdeki yardımcı sistemlerin gücü makine gücünün % 2 – 4’ üdür.

Gaz makinesinin verimliliği yakıtın alt ısı değeriyle saptanmaktadır [5,6]. Yakıtın alt ısı değeri içerisindeki suyun buharlaşmasından oluşan enerji kaybı nedeniyle üst ısı değerinden örneğin doğal gaz için % 10 daha düşüktür.

Makine elektriksel verimliliği generatör gücü kullanılarak hesaplanmaktadır, Denklem 3.

$$\eta_g = \frac{P_g}{Q_f} \quad 3.$$

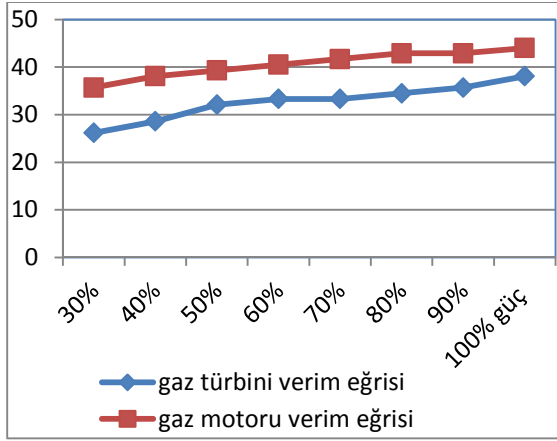
Denklem 3’te P_g generator gücü [MW], Q_f ise yakıtın alt ısı güç değeridir.

Üretici firmalar η_g ’yi genellikle ısı tüketim değeri $H_c [kJ / kWh]$ olarak vermektedirler.

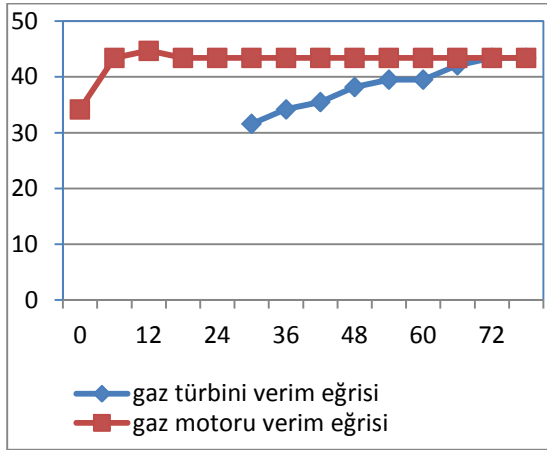
$$H_c = \frac{Q_f}{P_g} \quad 4.$$

$$\eta_g = \frac{1}{H_c} = \frac{3600}{H_c [kJ / kWh]} \quad 5.$$

Gaz makine ve gaz türbinleri için verim değerleri makine üreticileri tarafından verilmektedir. Bunlardan büyük makine üreticisi Wartsila ve büyük türbin üreticisi General Electric şirketlerine ait verim karşılaştırmaları Şekil 6’ da gösterilmektedir.



Şekil 6. Santral verimlerinin uygulama durumlarında karşılaştırılması (Wartsila ve GE)



Şekil 7. 80 MW kurulu gücünde gaz motorlu santralin uygulamada izlenmesi

Büyük güçlü gaz makinelerinin verimi % 40 – 45, aeroderivative gaz türbinlerinin % 35 – 40, endüstriyel gaz türbinlerinin ise % 25 – 35 aralığındadır.

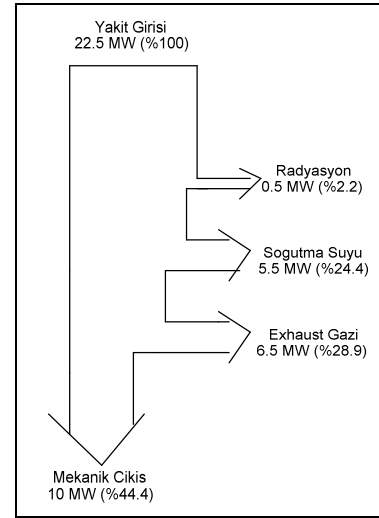
Şekil 7’ de 16 MW yükteki bir gaz makinesi veriminin aynı orandaki bir gaz türbininden % 10 daha yüksek olduğu görülmektedir.

Kojenerasyon santralinin verimi η Denklem 6’ da görüldüğü şekilde hesaplanmaktadır:

$$\eta = \frac{P_{net} + Q_{st} + Q_{hw}}{Q_f} \quad 6.$$

Denklem 6’da P_{net} santralin net gücü, Q_{st} buhar gücü, Q_{hw} sıcak su gücü ve Q_f ise yakıt girişidir.

Gaz makineli santral eğer sıcak su üretiyorsa toplam verim tipik olarak % 80 – 90 aralığında olacaktır. Eğer santral sadece buhar üretiyorsa verim % 60 -70’ de kalacaktır. Tipik bir gaz makinesi için ısı dengesi Şekil 8’ de gösterilmiştir.



Şekil 8. 10 MW gaz makinesi için ısı oranları

α ısı güç oranı kojenerasyon santralin kalitesini ölçme bakımından önemli bir parametredir

$$\alpha = \frac{P}{Q_{st} + Q_{hw}} \quad 7.$$

α gaz makineli sistemlerde 0.9 – 1.2, gaz türbinli sistemlerde ise 0.5 – 0.8 aralığındadır. Gaz makine ya da türbinli kombine çevrim sistemlerde 1.0 – 1.3 aralığında değerdir.

Bu, örneğin, % 80 verimlilikte, ısı ihtiyacı 20 MW olan bir tesisin; bu talebinin 23.2 MW’ lık % 43 elektriksel verimlilikte bir gaz makinesi, 14.0 MW’ lık % 33 elektriksel verimlilikte bir gaz türbini ile ya da 8.2 MW’ lık % 23 elektriksel verimlilikte bir buhar türbini ile karşılanacağını göstermektedir [7,8].

Makine Sayısı

Makine sayısı tesisin güvenilirliğinde etkili olacaktır. n üniteli sistemde m ünitenin devrede olma olasılığı

$$P(m) = \sum \frac{n!}{m! (n-m)!} R^m (1-R)^{n-m} \quad 8.$$

Burada R, güvenilirlik indisini göstermektedir. %97 güvenilirlikteki makineler baz alındığında, Denklem 8' in Binom açılımından Tablo I elde edilebilir [9].

n	1	2	3	4	5
n	0.97000	0.94090	0.91267	0.88529	0.85873
n-1		0.99910	0.99735	0.99481	0.99152
n-2			0.99997	0.99989	0.99974
n-3				0.99999	0.99999

Tablo I. R=%97 için en az (n-m) ünitenin devrede olma olasılığı

Tablodan 3 makineli sistem için hepsinin aynı anda devrede olma olasılığının 0.91267, ikisinin devrede olmada olasılığının 0.99735, en az birinin devrede olma olasılığının ise 0.99997 olduğu görülmektedir.

Ekonomiklik

Elektrik üretim maliyeti Denklem 9'dan hesaplanabilir:

$$f_{\ddot{u}} = \frac{a.p}{h} + \frac{860.f_y}{\eta.H_u} \quad 9.$$

Burada;

- a Tesis kurulu güç masrafı [\$/kW]
- p Senelik tesis masrafı yüzdesi (faiz, amortisman, tamir bakım, idari, vb.) [%]
- h Senelik çalışma süresi [s]
- f_y Yakıt fiyatı [\$/TL/m³- ton- kg]
- η Verim
- H_u Yakıtın alt ısı değeri [kcal/m³- ton-kg] göstermektedir.

5 yıllık işletme verileri ortalaması	Gaz Türbini (ÜÇ+AÇ=KÇ)	Gaz Makinesi (ÜÇ)
Arıza süresi	13.5 s /yıl	169.9 s /yıl
Bakım süresi	113 s/yıl	291.7 s/yıl
Bakım maliyeti	0.009 TL/kWh	0.003 TL/kWh
Güvenilirlik (RL)	0.98-0.99	0.97-0.98
Emre amadelik (AV)	0.97-0.98	0.95-0.96
Verim	0.39-0.40	0.40

Tablo II. 5 yıl ortalamalı gerçek işletme verileri [10]

$$RL = \frac{D - (B + A)}{(D - B)} \quad 10.$$

$$AV = \frac{D - (B + A)}{D} \quad 11.$$

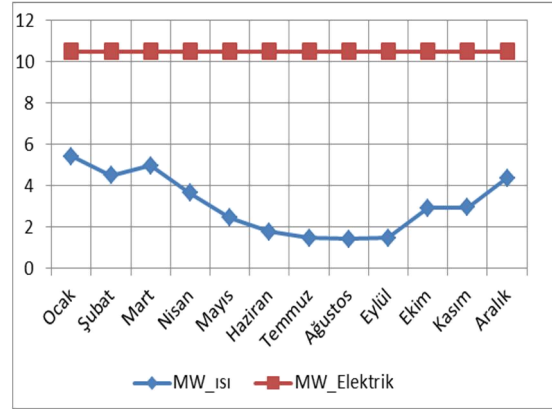
D = Dönem zamanı (Saat, Gün, Ay, Yıl)

B = Bakım zamanı (Saat, Gün, Ay, Yıl)

A = Arıza zamanı (Saat, Gün, Ay, Yıl)

Örnek Çalışma

Cam Elyaf Fabrikası



Şekil 9. Elektrik – Isı talep eğrisi

Arz-talep eğrisinden elektrik gücünün 10.5 MW, ısı gücünün ise maksimum 5 MW olduğu görülmektedir. Buradan $\alpha = 2.1$ olarak bulunur. Buna göre gaz makinesi seçimi daha uygun gözükmektedir.

Gaz makinesi yatırım maliyetinin 400 €/kW (≈ 1000 TL/kW), yıllık sermaye (sabit giderler) masrafının yıllık %10 alınabileceği kabulüyle, 10 MW'lık bir santral için,

Yatırım masrafı,
 10000 kW. 1000 TL/kW=10.10⁶ TL
 Yıllık sabit giderler,
 1000 TL/kW.0,10.10.10³ kW=100.10³ TL
 Santralin ömrü 10 yıl alınırsa,
 10.10⁶ TL/10=1.10⁶ TL

Cam Elyaf fabrikasının elektrik fiyatı
 gündüz-puant-gece sırasıyla 20.74-34.98-
 10.47 (ağırlıklı ortalama $\approx$ 20.86)
 Krş/kWh, doğalgaz fiyatı ise 0.740783
 TL/Sm³tür.

Bu kabullere göre (24 saat çalışma durumu
 için) elektrik üretim maliyeti,

$$f_{\ddot{u}} = \frac{1000.0,10}{8760.0,95} + \frac{860.0,740783}{0,40.8250}$$

$$= 20,51 \text{ Krş} / kWh$$

Sadece gündüz ve puant çalışma durumu
 için ise,

$$f_{\ddot{u}} = 21,10 \text{ Krş} / kWh$$

olacaktır (Bu durumdaki şebeke gündüz-
 puant ağırlıklı ortalaması ise 25,19
 Krş/kWh'tir).

$\eta = 0.90$ verimli bir endüstriyel kazanda,

$$\frac{3000}{0.9} = 3333 \text{ kW}_{\text{ısı}}$$

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ Sm}^3 = 8250 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ Sm}^3 = 9.593 \text{ kWh}$$

$$\frac{3333}{9.593} = 347 \text{ Sm}^3$$

$$347 \text{ Sm}^3 \cdot 0.740783 \text{ TL} / \text{Sm}^3 = 257 \text{ TL}$$

24 saat için

$$8760 \text{ s} / \text{yıl} \cdot 0.95 \cdot 257 \text{ TL} / \text{s} = 2,138,754 \text{ TL}$$

$$16 \text{ saat için ise } 1,425,836 \text{ TL}$$

olacaktır.

Elektrik geliri,

24 saat için

$$(0.2086 - 0.2051) \frac{\text{Krş}}{\text{kWh}} \cdot 7.5 \cdot 10^6 \frac{\text{kWh}}{\text{ay}} \cdot 12 \frac{\text{ay}}{\text{yıl}}$$

$$= 315000 \text{ TL}$$

16 saat için ise

$$2454000 \text{ TL}$$

olacaktır.

24 saat için

$$\text{Elk} + \text{Isı Geliri} = 315000 + 2138754$$

$$= 2453754 \text{ TL}$$

16 saat için

$$\text{Elk} + \text{Isı Geliri} = 2454000 + 1425836$$

$$= 3879836 \text{ TL}$$

Kurulum maliyetinin 10.10⁶ TL olduğunu
 kabul etmiştik. Buna göre;

24 saat için

$$\frac{10 \cdot 10^6}{2.45 \cdot 10^6} \cong 4.07 \text{ yıl}$$

16 saat için

$$\frac{10 \cdot 10^6}{3.88 \cdot 10^6} \cong 2.58 \text{ yıl}$$

olacaktır.

Hesaplamaların kabuller doğrultusunda
 yapıldığına dikkat edilmelidir. Isı gelir-
 giderlerinin belirleyici olduğu
 görülmektedir. Isı tüketimi ise mevsimlere
 göre değişkenlik göstermektedir. Bu
 nedenle min-ort-maks ısı tüketimlerine
 göre de ayrı hesap yapılması gerekebilir.

Tek ünite (1 adet 10 MW'lık makine)
 yerine çoklu sistemlerin kurulumu da
 (örneğin; 2*5 MW, 3*4 MW, 4* 3 MW
 5*2 MW, 10*1 MW) mümkündür. Bu
 durumda, verim, güvenilirlik, bakım, vb.
 değişkenlik gösterecektir. İşletmelerden
 elde edilen üstteki verilerin kullanılması
 doğruya yakınsamayı sağlayacaktır.

Kuleler

Cam Elyaf için yapılan hesaplamalardan sonra burada doğrudan sonuçlar verilecektir.

3 kulenin ısıtma gücü=10580 kW

Elektrik gücü=25000 kW

$\alpha = 2.4$

Yine gaz makinesinin daha uygun olduğu görülmektedir.

Cam Elyaf için alınan parametrelerin kulelerin ticarethane tarifinde olması (elektrik fiyatı=28.56 Krş/kWh) ve ısıtmanın da 6 ay kullanılabileceği varsayımıyla, kurulacak 25 MW' lık bir kojenerasyon santralının kendisini ≈ 1.2 yıl gibi kısa bir sürede geri ödeyebileceği görülmektedir.

Hesaplamalarda gerçek tüketim eğrilerinin kullanılması gereklidir.

Üniversite Kampüsü

İçerisinde hastanesi de bulunan kampüs, öncelikle ısı sağlamak amacıyla kojenerasyon kurmak istemektedir.

Isı gücünün 8.7 MW olduğu hesaplanmıştır. Elektrik kullanımı ya da üretimi ile ilgili bir beklenti yoktur.

Bu veriler ışığında, % 80 tesis verimliliğiyle, bu talebinin 13 MW' lık % 43 elektriksel verimlilikte bir gaz makinesi, 6.0 MW' lık % 33 elektriksel verimlilikte bir gaz türbini ile ya da 3.5 MW' lık % 23 elektriksel verimlilikte bir buhar türbini ile karşılanacağını görülmektedir.

Benzer hesaplama yöntemi izlendiğinde, gaz makinesinin geri ödemesinin 1 yıl, gaz türbininin ise 0.8 yıl olduğu görülmektedir. Bu durumda gaz türbini seçimi gaz makinesine göre daha uygun olacaktır.

SONUÇ

Elektrik – ısı üretim amaçlı kurulan tesislerin ilk yatırım maliyetleri yüksektir.

Ülkemizin sadece hammadde kaynakları değil, enerji üretim makineleri de dışa bağıdır. Makinelerin tipinin ve boyutunun doğru belirlenmesi, kaynakların etkin kullanılmasını sağlayacak, yatırımcının tesisini verimli işletmesine imkan tanıyacak ve geri ödemesini hızlandıracaktır. Enerji verimliliğinin artışı sağlanacaktır.

Teorideki veri aralığı işletmelerde gerçekleşenlerle karşılaştırılarak, yeni kojenerasyon santralının seçimi için verilmiştir.

Doğru veriler tesisin doğru kurulmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Joseph A. Orlando, Cogeneration Planner's Handbook
- [2] J.H. Horlock, Cogeneration, Combined Heat and Power, 1997
- [3] J. Sirchis, Combined Production of Heat and Power (Cogeneration); 1989
- [4] Cengel YA, Boles MA. Thermodynamics; an engineering approach, 6th ed. New York: McGraw-Hill;2008.
- [5] ISO Standard 3046-1
- [6] ISO Standard 3977-2:1977
- [7] Aysegul Abusoglu, Mehmet Kanoglu. First and second law analysis of diesel engine powered cogeneration systems. Energy Conversion Management 49 (2008) 2026-2031.
- [8] Uğur Çakır,Kemal Çomaklı,Fikret Yüksel. The role of cogeneration systems in sustainability of energy. Energy Conversion and Management 63 (2012) 196-202.
- [9] Akdeniz, Fikri, Olasılık ve İstatistik, Adana 2000, Baki Kitabevi
- [10] Camiış Elektrik Üretim A.Ş. Topkapı EÜ-Çayırova Kojenerasyon – Trakya Kombine Çevrim Elektrik Santralı İşletme Verileri