

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE KULLANILAN BİRLEŞİK KOJENERASYON SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Muharrem İMAL, Ayhan ONAT
K.S.Ü., Kahramanmaraş Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü
KAHRAMANMARAŞ

ÖZET

Bu çalışmada, birleşik ısı ve güç sistemlerinin endüstriyel tesislerde kullanımının ekonomik analizi yapılmıştır. Birleşik ısı-güç sistemlerinde kullanılan ara buhar almalı çevrim ve karşı basınçlı çevrimin ilk yatırım maliyeti, işletme ve yakıt giderleri hesaplanmıştır. Birleşik kojenerasyon tesisinin ürettiği elektrik ve buharın yıllık parasal değerleri bulunmuştur. Tesislerin yıllık giderleri yıllık gelirlerden çıkarılarak net karları hesaplanmış ve karlılık oranları karşılaştırılmıştır. Sonuçta elektrik fiyatlarındaki artış dikkate alındığında birleşik kojenerasyon sistemlerinin elektrik ve buhar kullanan endüstriyel işletmeler için ekonomik açıdan uygun bir yatırım olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kojenerasyon sistemleri, Ara buhar almalı çevrim, Karşı basınçlı çevrim, Ekonomik analiz.

ECONOMICAL ANALYSIS OF COMBINED CYCLE COGENERATION SYSTEMS USING IN INDUSTRIAL PLANTS

ABSTRACT

In this study, the economic analysis of combined cycle cogeneration systems used in process industries was carried out. The first investment costs, operational costs, and fuel costs of extraction-condensing steam cycle and back pressure steam cycle used in combined cycle cogeneration systems were calculated. The annual monetary value of electricity and steam produced in combined cycle cogeneration systems were computed. Net profits were calculated by subtracting the annual expenditures from annual incomes, and the ratios were compared for these two systems. By considering the increases of electricity costs, results of this study showed that combined cycle cogeneration systems can be an economically proper investment for the process industries that use electricity and steam.

Key Words : Combined cycle cogeneration systems, Economical analysis, Extraction-condensing steam cycle, Back pressure steam cycle.

1. GİRİŞ

Dünyada bugün kullanılan enerjinin yaklaşık olarak %88 fosil, %7 nükleer, %3, hidrolik ve %2 yenilenebilir enerji kaynaklardan elde edilmektedir (1). Gelişmekte olan ülkeler grubunda yer alan Türkiye’de enerji ihtiyacının ancak %45’i yerli üretimle karşılanmaktadır. Petrol, toplam enerji tüketiminin %46’sını, linyit %17’sini, hidrolik enerji %29’unu, doğal gaz ise %8’ni karşılamaktadır (2). Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji henüz yetersizdir. Fosil esaslı enerji kaynaklarının bir gün tükeneceğinin bilinmesi, mevcut kaynakların daha verimli kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla geliştirilmesi için çalışmalar sürekli artmaktadır. Sanayileşmenin sürekli ve kaliteli enerji isteği elektrik ve ısı enerjisine olan talebi hızla artırmakta, bu durum yatırımcıları kendi enerjilerini üretmeye zorlamaktadır (3). Enerjinin üretimi doğrudan etkilemesinden dolayı enerji ile ekonomi arasında ayrılmaz bir ilişki vardır. Bu nedenle enerji kullanımındaki verimliliğin artırılmasının önemi daha iyi anlaşılmaktadır (4,5).

Klasik güç santrallerinde fosil esaslı yakıt enerjisinin üçte biri elektrik enerjisine dönüştürülebilir, üçte ikisi ise soğutma suyu olarak çevreye atılır (6). Bir güç santralının birleşik kojenerasyon üretimi için tasarlanmasında ve işletilmesinde yapılabilecek iyileştirme enerjinin kullanımını artırır.

Birleşik kojenerasyon sistemleri kurularak ısıtılacak mekanların, sıcaklığı 60 – 180 °C arasında değişen sıcak su ihtiyacı karşılanabildiği gibi endüstriyel alanda da proses ısısına gereksinim duyan tesislerin ısı ve güç ihtiyaçları bir buhar türbininin çıkışından veya çürük buhardan yararlanılarak karşılanabilir. Bu yüzden birleşik ısı ve güç tesislerindeki enerji tasarrufu büyük boyutludur. Basit bir termodinamik çalışması ve ekonomik inceleme ile enerji tasarrufunun daha doğru değerlendirilmesi sağlanır (7).

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Termodinamik Analiz

Uygulamada karşılaşılan açık sistemlerin çoğunda sistemin özellikleri zamandan bağımsızdır.

Sistemin sınırları sabittir ve sistemin içerisinde alınan bütün noktalarda akışkanın sahip olacağı özellikler sadece konuma bağlı olup zamandan bağımsızdır. Ayrıca sürekli rejimde çalışan böyle bir sistemin sınırlarından birim zamanda geçen ısı, iş ve kütle miktarları sabittir. Sürekli akışlı, sürekli açık (SASA) sistemler için enerji denklemi (8),

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \dot{m}_g - \sum \left(h_c + \frac{V_c^2}{2} + gz_c \right) \dot{m}_c = 0 \text{ ile ve-}$$

rilir. Burada \dot{m} sistemden birim zamanda geçen akışkanın kütesidir. \dot{Q} ve \dot{W} ise birim zamanda sistemle çevre arasında alınıp verilen ısı ve iş miktarlarını göstermektedir. Giriş ve çıkış kesitleri arasında potansiyel enerjide meydana gelen de-

ısı miktarı da çok düşüktür ve ihmal edilmiştir. Böylece 1 nolu eşitlik,

$$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (2)$$

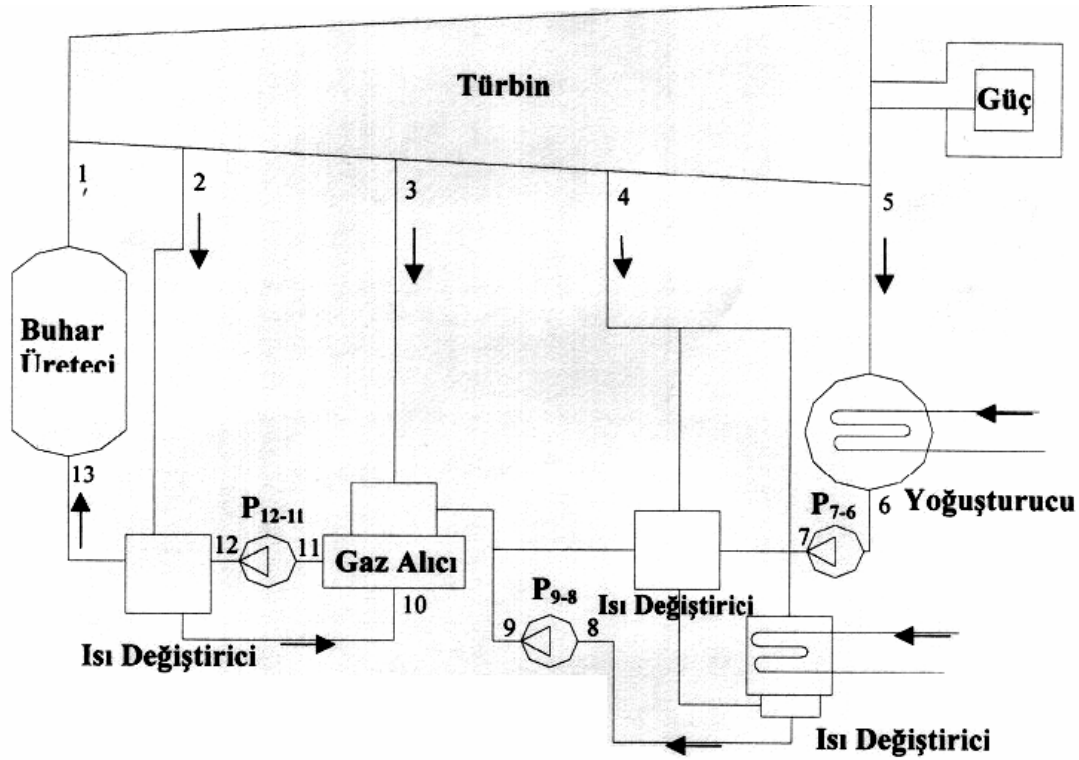
şeklinde yazılabilir.

Bu çalışmada şekil 1 ve şekil 2'de gösterilen ara buhar almalı kojenerasyon sistemleri ile karşı basınçlı kojenerasyon sistemleri ekonomik açıdan karşılaştırılacaktır.

2.2 Ara Buhar Almalı Birleşik Kojenerasyon Çevrimi

Süreklilik denklemine göre türbinden geçen kütleli debi;

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \quad (3)$$



Şekil 1. Ara buhar almalı birleşik kojenerasyon santrali.

ğişme ihmal edilebilir. Türbinlerde giriş ve çıkış kesitlerinin alanları, giriş ve çıkış hızları birbirine yakın olacak şekilde seçilir. Bu nedenle kinetik enerjide meydana gelen değişme ihmal edilebilir. Diğer taraftan türbin içerisinde büyük bir hızla akmakta olan akışkanın giriş ve çıkış kesitleri arasında birim kütle başına kazandığı veya kaybettiği

Net türbin işi;

$$\begin{aligned} \dot{W}_t = & \dot{m}_1(h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) \cdot (h_2 - h_3) \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3) \cdot (h_3 - h_4) \quad \text{Toplam} \\ & + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4) \cdot (h_4 - h_5) \end{aligned}$$

pompa işi;

$$\begin{aligned} \dot{W}_p = & \dot{m}_5(h_7 - h_6) + \dot{m}_4(h_9 - h_8) \\ & + \dot{m}_1(h_{12} - h_{11}) \end{aligned} \quad (5)$$

Buhar üreticinin ısı yükü;

$$\dot{Q}_{bu} = \dot{m}_1 (h_1 - h_{13}) \quad (6)$$

Yoğuşturucu ısı yükü;

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_5 (h_5 - h_6) \quad (7)$$

2.3 Karşı Basınçlı Birleşik Kojenerasyon Çevrimi

Süreklilik denklemine göre türbinden geçen kütleli debi;

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \quad (8)$$

Net türbin işi;

Jeneratörden elde edilen elektrik değeri;

$$W = (W_t - W_p) \cdot \eta_g$$

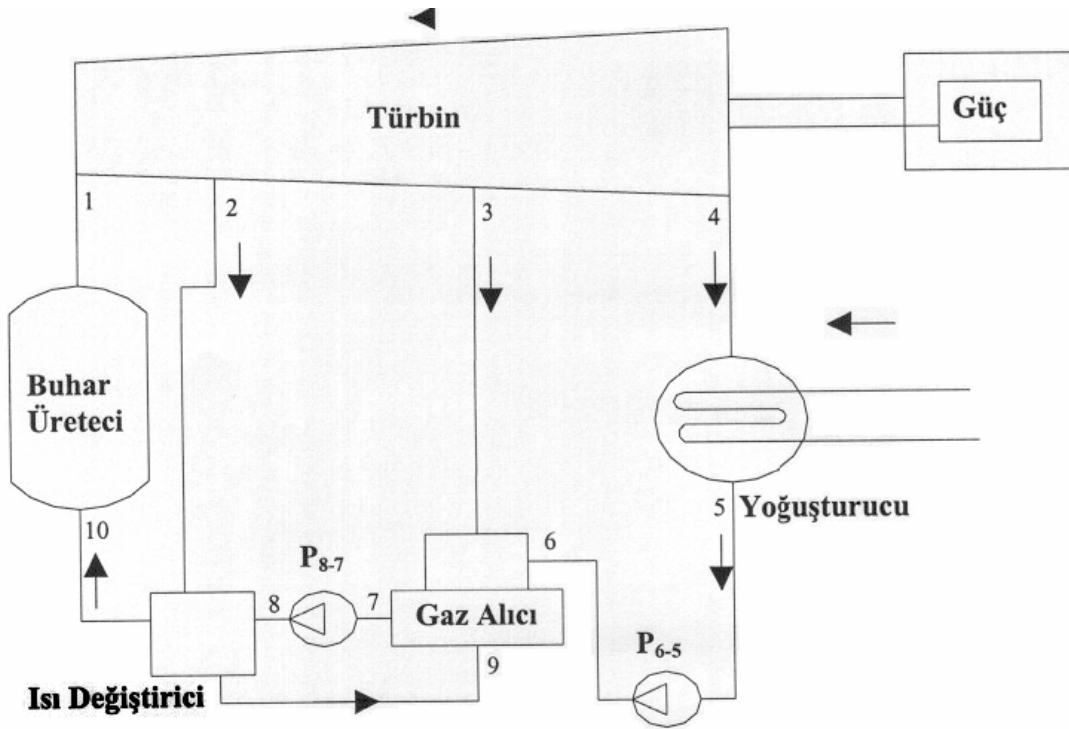
Elektrik ısı oranı;

$$WQ_o = \frac{W}{Q_y} \quad (13)$$

Isı giriş çıkış oranı;

$$QGC_o = \frac{Q_{bu}}{Q_y} \quad (14)$$

Ara buhar almalı çevrimde, buhar yoğuşturucu basıncına kadar genişletilir ve proses



Şekil 2. Karşı basınçlı birleşik kojenerasyon santrali.

$$\dot{W}_t = \dot{m}_1 (h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) \cdot (h_2 - h_3) + \dot{m}_4 (h_3 - h_4) \quad (9)$$

Toplam pompa işi;

$$\dot{W}_p = \dot{m}_4 (h_6 - h_5) + (\dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4) (h_8 - h_7) \quad (10)$$

Buhar üreticinin ısı yükü;

$$\dot{Q}_{bu} = \dot{m}_1 (h_1 - h_{10}) \quad (11)$$

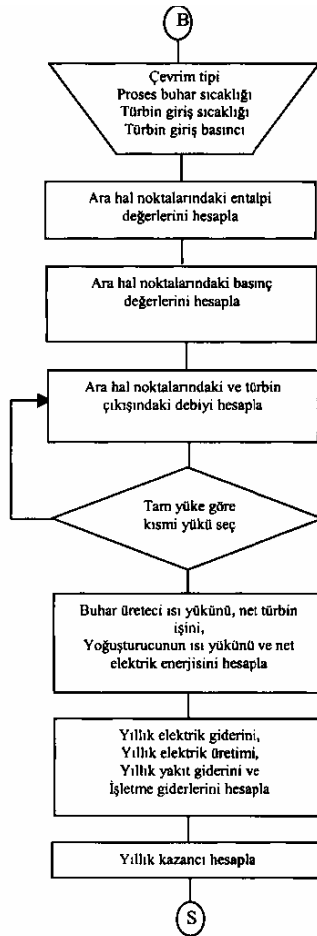
Yoğuşturucu ısı yükü;

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_4 (h_5 - h_4) \quad (12)$$

sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncında bir ara buhar alma işlemi gerçekleştirilir. Karşı basınçlı çevrimde ise buhar sadece proses sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncına genişletilir. Ara buhar almalı türbinlerde kısmi ısı yüklerinde bile elektrik üretiminin artırılabilmesi bu çevrimin en önemli üstünlüğünü oluşturur. Diğer taraftan karşı basınçlı türbinler, basit bir yük kontrol mekanizmasına sahip olmanın yanında, ilk yatırım harcamalarının düşük olması gibi bir üstünlüğe de sahiptirler. Bu çevrimlerin her ikisi de yaygın bir kullanım alanına sahiptir (9,10,11).

2.4 Programının Tanıtılması

Visual Fortran dilinde yazılan ve çalıştırılan bu program üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar, ara buhar almalı çevrimin ve karşı basınçlı çevrimin hesaplandığı bölüm ve çevrimde kullanılan akışkana ait özellikleri hesaplayan alt programlardır. İlk bölümde menü kısmı bulunmaktadır. Bu kısımda çevrimlerin sıra numarası verilmekte ve ilk giriş verilerinin hangi birim sisteminde girileceği kullanıcıya gösterilmektedir. Daha sonra hesaplanması istenen akışkan özellikleri için program çalıştırılmaktadır. İlk giriş verilerini akışkanın türbine giriş sıcaklığı ve giriş basıncı oluşturmaktadır. Programda çevrimi meydana getiren her bir açık sistemin giriş ve çıkış özelliklerine ait entalpi, özgül hacim, basınç, sıcaklık ve debi hesaplanmaktadır. Her iki çevrimden de elde edilebilecek elektrik değeri (W), ısı değeri (Q) elektrik ısı oranı (WQ_0) ve çevrime giren ısının çıkan ısıya oranı (QGC_0) yükten bağımsız ve yüke bağlı olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3. Programın akış diyagramı.

Bilgisayar programı, her iki çevrim için 3 MPa-250°C, 6 MPa-350°C, 9 MPa-450°C ve 12 MPa-550°C değerlerine sahip türbin koşullarında çalıştırılmıştır. Her bir türbin giriş değeri için proses sıcaklıkları 60-180°C arasında değişmektedir. Şekil 3'de programın akış diyagramı gösterilmektedir. Program türbindeki genişleme esnasında entalpi ve entropi değerlerini hesaplarken, T sıcaklığı ve v özgül hacmi için kızgın buhar bölgesindeki akışkana ait iç enerji, entalpi ve entropi değerlerini de bulmaktadır. Çevrimlerin her bir noktasındaki sıcaklık ve basınç değerleri hesaplanırken, T sıcaklığı ve P basıncı için sıkıştırılmış sıvının özellikler bulunmaktadır. Termodinamik özelliklere ait sabit değerler ASHRAE'nin yayınlamış olduğu buhar tablolarından alınmıştır (12).

Bilgisayar programı kullanılarak yapılan simülasyonda hem ara buhar almalı hem de karşı basınçlı çevrim için elde edilen grafikler şekil 4 ile 11'de gösterilmiştir. Her iki buharlı çevrim için seçilen türbin giriş koşulları 3 MPa- 250°C, 6 MPa-350°C, 9 MPa-450°C ve 12 MPa-550°C olarak, işletmenin ihtiyaç duyduğu proses sıcaklığı ise 60°C, 80°C, 100°C, 120°C, 140°C, 160°C ve 180°C aralığındaki değerler için çalışma yapılmıştır. Çevrimden elde edilen elektrik ve ısı miktarı türbine giren birim buhar kütlesine göre hesaplanmaktadır.

2.5 Ekonomik Analiz

Bir birleşik ısı ve güç tesisinin kurulup kurulamayacağına karar verme aşamasında en önemli değişkenler ekonomik değişkenlerdir. Bu konuda yapılacak çalışma öncelikle ayrıntılı bir mühendislik araştırması gerektirir. Birleşik ısı güç tesisleri hakkında yapılacak çalışmaları etkileyecek değişkenler şu şekilde sıralanabilir.

- Sistem tarafından satın alınacak olan gücün birim değeri,
- Satın alınan yakıtın birim değeri,
- Sistemin bakım ve işletme giderleri için yapılacak olan birim harcamalar,
- Sisteme yapılan yatırımın geri dönmesi esnasında uygulanan faiz, vergi oranı ve sigorta giderleri,
- Personel ve yönetim giderleri.

Sistem tarafından satın alınan gücün birim değeri ulusal şebekeyi kuran ve enerjinin dağıtımını yapan yerel yönetim tarafından belirlenir. Bu değer, sistem tarafından kullanılan sabit bir enerji

değerinden sonra periyodik olarak artar. Yakıt harcamaları sistemin kurulu gücüne göre değişir. Küçük ve orta ölçekli tesislerde gaz veya sıvı esaslı yakıtlar kullanılır. Yakıt tüketimi sistemin çalışma yükünün değişmesiyle artar veya azalır. Bakım ve işletme giderleri en önemli değişkendir. Bütün kurulu tesisler periyodik bakım ihtiyacı duyarlar, bakım periyotları tesisin tipine ve büyüklüğüne bağlıdır. Ancak tahmin edilemeyen bakım harcamalarını belirlemek oldukça zordur. Bu konuda yapılacak bir çalışma için iki varsayım söz konusudur.

Birleşik kojenerasyon tesisi kurulmamışsa endüstriyel tesisin ısı enerjisi ihtiyacının diğer olanaklarla karşılandığı varsayılacaktır. Böylece yatırım yapılırken, enflasyon vb. nedenlerle harcamalarda meydana gelen artışlar dikkate alınır. Bu durum mühendislik harcamalarına ek olarak turbojeneratör grubuna, yoğunlaştırucuya, besi suyu ısıtıcılarına, buhar türbinlerine, ilave boru donanımına, atık gazları temizleme ve yakıt depolama ünitelerinin konstrüksiyon ve inşaa çalışmalarına yapılan harcamaları da kapsar.

Bu kabullere göre ekonomik çözümlemede esas alınabilecek değişkenler şu şekilde sıralanabilir.

- Proses işletmelerinde kullanılacak akışkanının sıcaklığı,
- Tesisin gereksinim duyduğu ısı gücü ve bu gücün bir gün içerisindeki ortalama değişimi,
- Birleşik ısı ve güç sistemlerinde ve bu sistemin buhar ihtiyacını karşılayan buhar kazanlarında kullanılan yakıtın türü,
- Tesisin yıllık çalışma süresi.

Bu değerlerle birlikte birleşik ısı ve güç sistemlerini kurmak için buhar kazanları için yapılan yatırıma ek olarak fazladan yapılacak sabit yatırım değerleri şu şekilde bulunmuştur. Tablo 1'de yakıtların ısı değeri ve birim fiyatları verilmiştir.

Ara buhar almalı çevrim	846,6 \$/kW
Karşı basınçlı çevrim	686 \$/kW

Tablo 1. Yakıtların Isıl Değeri ve Birim Fiyatları

Yakıt	Hu (kJ/kg)	Birim fiyatı (TL/kg, TL/L)	Birim fiyatı (\$/kg)	\$/kJ
Fuel oil	41000	450.10 ³	0,27	6,6.10 ⁻⁶
Diesel yakıt	41800	1350.10 ³	0,82	2,0.10 ⁻⁵
Linyit kömürü	11700	100.10 ³	0,06	5,2.10 ⁻⁶
Doğal gaz	35000	380.10 ³	0,23	6,6.10 ⁻⁶
Elektrik	-	200.10 ³ (TL/kW)	-	33,6.10 ⁻⁶

Ekonomik çözümlemede birleşik ısı güç sisteminin yıllık elektrik ve buhar üretimi, sistemin işletme süresi ve kısmi çalışma yüküne göre hesaplanmaktadır.

Yatırımın ömrü 30 yıl olarak, geri ödeme süresinde uygulanacak faiz oranı %8 ve işletmenin proses sıcaklığı 90 °C olarak alınmıştır (13). Bütün bu verilerden sonra tasarım aşamasında türbin giriş koşulları 9 MPa, 450 °C olarak öngörülen bir kimya tesisinde her iki çevrimden istenen ısı gücü 12 MW, ara buhar almalı çevrimden elde edilmesi tasarlanan elektrik değeri 7,3 MW, karşı basınçlı çevrim kullanılması durumunda elde edilmesi tasarlanan elektrik değeri 6,9 MW'dır (14). Her iki sisteminde % 75 kısmi yükte, yılda 8640 saat süreklili çalışacağı planlanmıştır. Bu durumda ara buhar almalı çevrimin yıllık ısı üretim miktarı:

$$Q_{aA} = l \cdot P \cdot t \quad (15)$$

$$= 0,75 \cdot 7300 \cdot 8640 = 47,3 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

bulunur. Burada l kısmi yük, P planlanan kurulu güç, t sistemin çalışma süresini göstermektedir. Şekil 10 ve şekil 11'de ara buhar almalı çevrim için ısı ve elektrik oranı $WQ_o = 0,36$ ve ısı girişi ve çıkışı oranı $QGC_o = 1,45$ dir. Bu durumda ara buhar almalı çevrimin yıllık elektrik üretim miktarı :

$$W_A = WQ_o \cdot Q_{aA} \quad (16)$$

$$= 0,36 \cdot 47,3 \cdot 10^6 = 17,02 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

pik yükte tesiste ortaya çıkacak fazla ısı ihtiyacının yıllık değeri :

$$Q_{hA} = (QGC_o - 1) \cdot Q_{aA} \quad (17)$$

$$= (1,45 - 1) \cdot 47,3 \cdot 10^6 = 21,3 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

Aynı şekilde karşı basınçlı çevrimin planlama aşamasında üreteceği ısı miktarı :

$$Q_{aA} = Q_{aK}$$

$$= 47,3 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

şekil 10 ve şekil 11 de karşı basınçlı çevrim için ısı ve elektrik oranı $WQ_o = 0,33$ ve ısı giriş ve çıkış oranı $QGC_o = 1,38$ dir. Bu durumda karşı basınçlı çevrimin yıllık elektrik üretim miktarı:

$$W_K = WQ_o \cdot Q_{aK} \quad (18)$$

$$= 0,33 \cdot 47,3 \cdot 10^6 = 15,6 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

pik yükte tesiste ortaya çıkacak fazla ısı ihtiyacının yıllık değeri :

$$Q_{hK} = (QGC_o - 1) \cdot Q_{aK} \quad (19)$$

$$= (1,38 - 1) \cdot 47,3 \cdot 10^6 = 17,98 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

İlk yatırım harcamalarının toplamı karşı basınçlı çevrim için $6,2 \cdot 10^6$ \$, ara buhar almalı çevrim için bu değerden yüzde 20 daha yüksek verilmiştir (15).

$\eta = 0,85$ Buhar üreticinin verimi

$f_f = 0,2$ \$ / kWh Yakıt fiyatı

$f_e = 0,12$ \$ / kWh Elektrik fiyatı

$(Y)_F = 9,82$ (% 8 den 20 yıl vade ile)

$(Y)_{IB} = 0,5 \cdot 10^6$ \$

Ara buhar almalı birleşik ısı ve güç sisteminin yıllık kazancı,

$$K_A = f_e \cdot W_A - \frac{f_f \cdot Q_{hA}}{\eta} - \frac{(Y)_M}{(Y)_F} - (Y)_{IB} \quad (20)$$

karşı basınçlı birleşik ısı güç sisteminin yıllık kazancı ise;

$$K_K = f_e \cdot W_K - \frac{f_f \cdot Q_{hK}}{\eta} - \frac{(Y)_M}{(Y)_F} - (Y)_{IB} \quad (21)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada,

f_e : Elektrik fiyatı,

W : Elektrik üretimi (yıl / kWh)

f_f : Yakıt fiyatı,

Q_h : Isı enerjisi ihtiyacındaki yıllık artış miktarı (kWh)

η : Buhar üreticinin verimi,

$(Y)_M$: Yatırımın toplam maliyeti,

$(Y)_F$: Yatırım faktörü,

$(Y)_{IB}$:Yıl içindeki işletme ve bakım masraflarını göstermektedir. Yatırım faktörü,

$$(Y)_F = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (22)$$

olarak alınır,

i : Yıllık faiz oranı

n : Geri ödeme periyodu

Verilen değerlerle ara buhar almalı çevrimin ve karşı basınçlı çevrimin ekonomik analizi 20 ve 21 bağıntıları kullanılarak yapılmış ve sonuçlar tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Yıllık Kazanç Değerleri.

Çevrimler	A(10^6)	B(10^6)	C(10^6)	D(10^6)
Ara buhar almalı çevrim	0,477	0,042	-0,390	-0,607
Karşı basınçlı çevrim	0,612	0,152	-0,276	-0,491

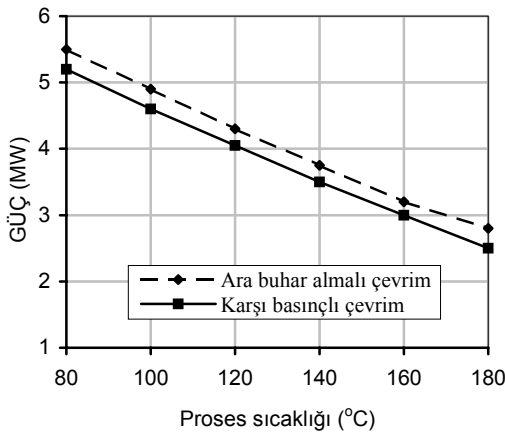
Tablo 2' de A seçeneği yıllık 8640 saat tam yükte çalışma durumunu, B seçeneği yıllık 8640 saat %75 yükte çalışma durumunu, C seçeneği yıllık 4320 saat tam yükte çalışma durumunu, D seçeneği yıllık 4320 saat %75 yükte çalışma durumunu göstermektedir. Bu sonuçlar aynı yatırım oranı, aynı bakım ve işletme masrafları, aynı geri ödeme süresi için çevrimlerin karlılığını artıran birinci değişkenin yakıt fiyatı olduğunu göstermektedir. Yakıt fiyatının ucuz olması sistemin kazancını artırmaktadır.

Sistemlerin uzun sürelerde ve kesintisiz çalışması da çevrimlerin karlılığını önemli ölçüde değiştirmektedir. Kısa çalışma süreleri sistemin zarar etmesine neden olmaktadır. Tam yükte ve kısmi yükte her iki sistemde kar elde etmektedir. Ancak tam yükte çalışma durumu her iki çevrim karlılığını artırmaktadır. Sonuç olarak bulgular her iki sisteminde tam yükte yıl boyunca kesintisiz çalışmasının karlılığı maksimum yapacağını ortaya koymuştur.

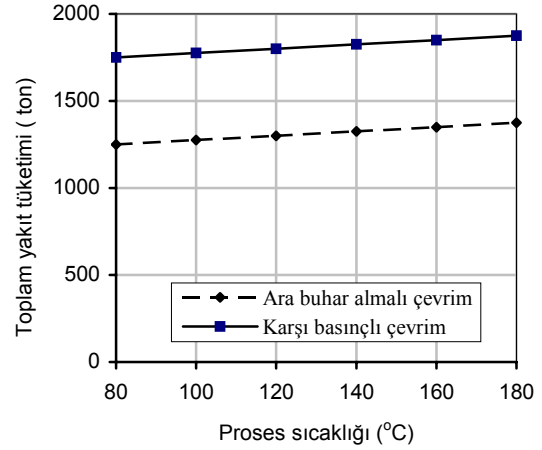
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Birleşik ısı ve güç sisteminin ekonomik değeri yıllık kazancına bağlıdır. Sistemin yıllık kazancının yüksek olması geri ödeme süresini kısaltarak elektrik ve buhar kullanan işletmeler için bu tesisler ekonomik olacaktır. Şekil 5'de işletmenin proses sıcaklığı artarken yakıt tüketimi de artmaktadır. Bu yüzden şekil 8'de görüldüğü gibi üretilen buhar miktarı ve buharın parasal değeri de artmaktadır. Bu durum işletmenin prostege kullandığı buhar miktarının arttığını göstermektedir. Şekil 6'da proses sıcaklığı artarken her iki çevrimin de

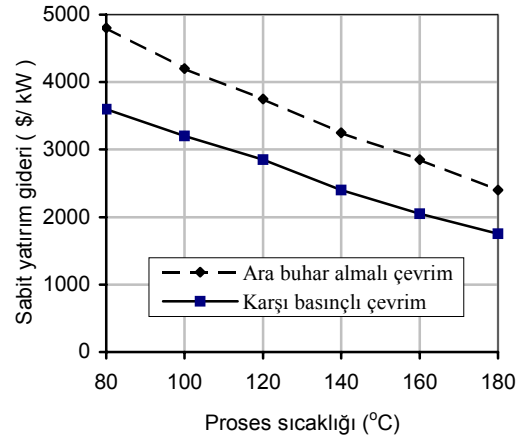
yatırım giderleri azalmaktadır. Bu durum öncelikle elektrik üretmek için kurulan tesislerin daha büyük yatırım gerektirdiğini göstermektedir. Öncelikle buhar üretmek için kurulan tesislerin kuruluş maliyeti daha düşüktür. Şekil 7’ de işletmenin proste kullandığı buharın sıcaklığı artarken elektrik üretimi azalmaktadır. Bu durum üretilen buharın büyük bir kısmının elektrik üretimi yerine proses işlemleri için kullanıldığını göstermektedir. Birleşik ısı ve güç sisteminin karlılığı ürettiği elektrik miktarının fazla olmasına bağlıdır. İşletme üretilen elektrik miktarından gereksinim duyduğu kadarını kullanacak, fazla elektriği ulusal şebekeye satacaktır. Birinci önceliği buhar üretmek olan tesislerde üretilen elektrik miktarı düşük olmakta bu durumda tesisin ilk yatırım maliyeti azalırken üretilen buharın parasal değeri artmaktadır. Dolayısıyla üretilen elektrik miktarı azaldığı için sistemin karlılığı düşmektedir. Düşük proses sıcaklıklarında işletme daha az buhar kullanacaktır. Bu durumda üretilen elektrik miktarı artacağı için tesisin yıllık kazancı da artacaktır. Proste düşük sıcaklıkta buhar kullanan işletmeler için ara buhar almalı çevrimin yıllık kazancı daha fazladır. Bunun yanında, proses işlemlerinde 160 °C nin üzerindeki sıcaklığa sahip buhar kullanan işletmeler için karşı basınçlı çevrimin yıllık kazancı ara buhar almalı çevrime göre daha fazladır. Bu çalışma elektrik giderleri sürekli artmakta olan işletmelerin, elektrik ve buhar üreterek enerji tasarrufu yapabileceklerini göstermektedir. Ele alınan noktalar elektrik ve buhar üreten işletmelerin birleşik ısı ve güç sistemi yatırımını tamamladıktan sonra kısa vadede kar elde edebileceklerini ortaya koymaktadır.



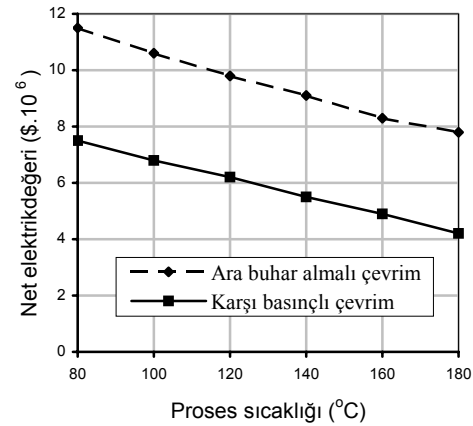
Şekil 4. Üretilen gücün (MW) proses sıcaklığı ile değişimi.



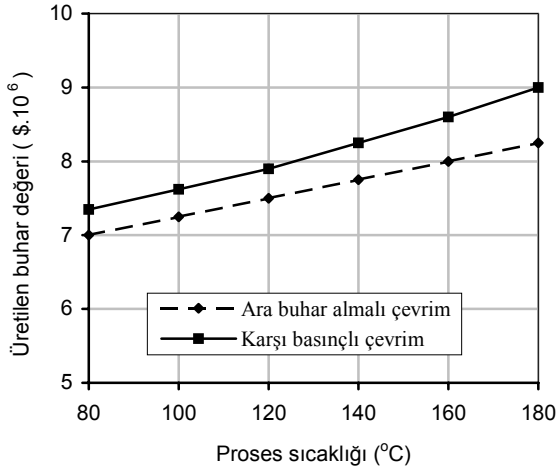
Şekil 5. Yakıt tüketiminin proses sıcaklığı ile değişimi.



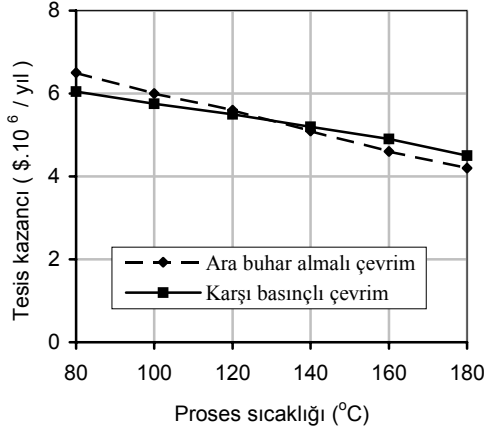
Şekil 6. Yatırım giderlerinin proses sıcaklığı ile değişimi.



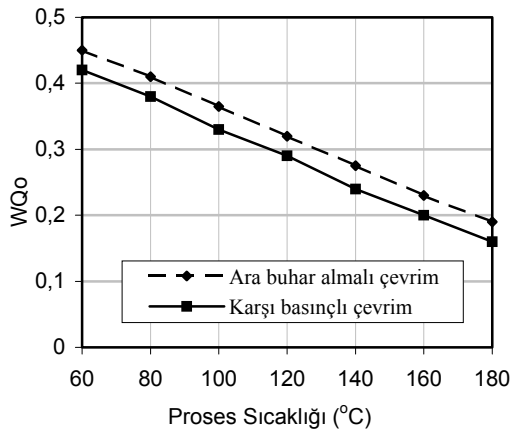
Şekil 7. Üretilen elektrik değerinin proses sıcaklığı ile değişimi.



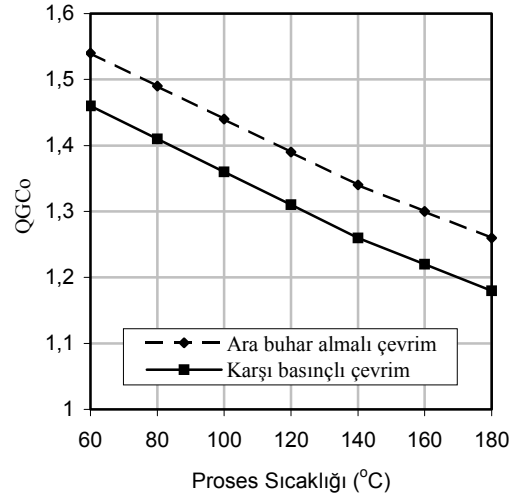
Şekil 8. Üretilen buhar değerinin proses sıcaklığı ile değişimi.



Şekil 9. Tesisin yıllık kazancının proses sıcaklığı ile değişimi.



Şekil 10. Giriş koşulları 9 MPa, 450°C için elektrik ısı oranının proses sıcaklığı ile değişimi.



Şekil 11. Giriş koşulları 9 MPa, 450°C için ısı giriş çıkış oranının proses sıcaklığı ile değişimi.

4. SEMBOLLER

\dot{m} =Kütlesel debi (kg/s)

h =Entalpi (kJ/kg)

\dot{W}_t =Net türbin işi (kW)

\dot{W}_p =Net pompa işi (kW)

\dot{Q}_{bu} =Buhar üretici ısı yükü (kW)

\dot{Q}_y =Yoğuşturucu ısı yükü (kW)

WQ_o =Elektrik ısı oranı

QGC_o =Isı giriş çıkış oranı

H_u =Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)

5. KAYNAKLAR

1. Anonim, TÜSİAD-T/98-12/239 Aralık 1998.
2. Anonim, Dünya Enerji Konseyi Bülteni, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, 1994.
3. Çavuşoğlu, Ş., Ülke Ekonomisinde Enerji Sorunu, İstanbul Sanayi Odası, No:8, s.65-68, 1981.
4. Külçe, N., Topuz, G., Enerji Sektöründe Anahtar Sözcük Kojenerasyon, Enerji Dergisi, No:6, s.3-10, 1996.
5. Dilip, R.L., Planning Cogeneration Systems, The Fairmont Pres, Atalanta, USA, 1984.

6. Horlock, J.P., Cogeneration: Combined Heat and Power, Thermodynamics and Economics, Pergamon Press, Oxford, 1987.
7. Philips, W.C., Thermodynamics Properties in SI Graphs Tables Computational Equations for Substances, Stanford University, 1979.
8. Çengel, A.Y., Boles, A.M., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Mc-Graw Hill Literatür, İstanbul, Türkiye, 1996.
9. Dvorak, A., The District Heating Power Plant at Randers, Brown Boweri Review, Vol. 67, No.11, pp. 672-676, 1985.
10. Malhauser, H., Steam Turbines in Conventional Combined District Heating and Power Stations, Brown Boweri, Review, Vol.64, No.9, pp. 552-564, 1987.
11. Olikar, I., Steam Turbines for Cogeneration Plants, Trans. ASME, Journal of Engineering for Power, Vol.102, pp.482-485, 1989.
12. ASHRAE Handbook, Fundamentals, SI Edition, Atlanta, USA, 1989.
13. Horlock, J. P., "Cogeneration : Combined Heat and Power, Thermodynamics and Economics", Pergomon Press, Oxford, 1987.
14. Rossiter, A. P., "Criteria for integration combined cycle cogeneration systems in process industries", Heat Recovery Systems and CHP, Vol. 10, No. 1, pp. 37-48, 1990.
15. Noyes, R., Cogeneration of Steam and Electric Power, Noyes Data Corp., Park Ridge, 1978.